In the name of Allah, the Most Gracious, the Most Merciful









120 DA

FACULTE DE MEDECINE D'ALGER

COURS DE BIOPHYSIQUE OPTIQUE

1ère année médecine

2014-2015

OPTIQUE GEOMETRIQUE

Chapitre II.1 INTRODUCTION ET GENERALITES

Chapitre II.1.1 Qu'est ce que l'optique?

L'optique est une branche de la physique qui s'intéresse à l'étude des phénomènes lumineux.

- Perception du monde qui nous entoure (formation des images).
- Instruments d'optiques (caméscope, télescope, camera, microscope,...).
- Propagation d'information via la lumière (fibre optique).
- Sources lumineuses (laser, lampe Sodium, ...).
- Détecteurs (Caméra IR, photo détecteur, ...).
- La lumière nous permet de distinguer les différents objets ou images.

La visibilité des objets ou images est conditionnée par :

1. La lumière visible (0,4 µm ; 0,8 µm).
2. La taille de l'objet.
3. La position de l'objet.

II.1.2 Origine de la lumière.

La lumière est le résultat du mouvement des charges électriques élémentaires.

On distingue, les sources lumineuses naturelles.

Et les sources lumineuses artificielles.

Elles peuvent êtres **PONCTUELLES** ou **ÉTALÉES.**

DIRECTES ou **INDIRECTES**

Toute source lumineuse étalée directe ou indirecte, peut être considérée comme un ensemble de sources lumineuses ponctuelles.

II.1.3. propagation de la lumière

Dans le cas des milieux isotropes, la propagation de la lumière se fait toujours en ligne droite orientée.

Elle possède une origine et un devenir.

On peut la considérée comme la trajectoire de l'énergie lumineuse à travers les milieux isotropes

Lorsque la lumière traverse un système optique, elle change de direction

II.1.4 Milieu de propagation

Il existe trois types de milieux

- Les milieux **transparents**. A travers les milieux transparents, on peut **voir nettement**. La lumière **traverse** les milieux transparents.
- Les milieux **translucides.** A travers les milieux **translucides**, **on ne peut pas voir nettement**. Une partie de la lumière **ne traverse pas** les milieux translucides.

Les milieux opaques. La lumière ne traverse pas les milieux opaques.

II.1.5 Définitions

II.1.5.1 Rayons lumineux

En optique géométrique on se réfère souvent à la notion de **rayon lumineux.**

II.1.5.2 Rayons, pinceau et faisceau lumineux

Un **ensemble** de rayons lumineux définit un **pinceau lumineux** et un ensemble de **pinceaux lumineux définit un faisceau lumineux.**

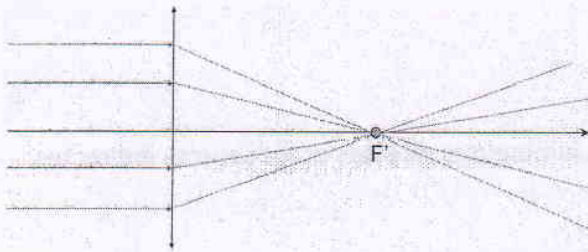
On trouve trois formes géométriques

Faisceaux **convergent. Faisceaux divergent. Faisceaux parallèle**

-Faisceau convergent :(de la ligne vers F)

-Faisceau divergent :(après F')

-faisceau parallèle :(avant la ligne)



II.1.6 Célérité de la lumière

La vitesse de la lumière dépend de la nature du milieu qu'elle traverse

Dans le vide sa vitesse est notée C, et elle est égale **$C = 3\ 10^8$ (m/s).**

Lorsque la lumière traverse un milieu transparent sa vitesse diminue celle-ci est notée V

II.1.7 Indice de réfraction des milieux.

On définit **l'indice de réfraction (n)** d'un milieu, par le rapport de **la célérité** de la lumière sur **la vitesse** de celle ci dans le milieu considéré.

$$n = \frac{C}{v}$$

II.1.8 Système optique

<u>II.1.8.1 Définition d'un Système optique.</u>

Lorsque la lumière change de milieux deux de ces paramètres varient. Sa direction et sa vitesse

Il existe deux types de systèmes optiques.

<u>II.1.8.2 Système optique stigmatique</u>

Si l'image observée à travers le système optique est nette (un point objet donne un point image) le système est **stigmate**.

Sinon il est **astigmate** .

II.1.9 Principe du retour inverse de la lumière

La trajectoire de la lumière traversant un ensemble de système optique est **la même** lorsque l'on **inverse** son sens de propagation.

Le chemin suivi par la lumière dans un sens est le même que si l'on inverse son sens.

II.1.10 Notion d'objet et d'image

II.1.10.1 Notion de source lumineuse

Il existe deux types de sources lumineuses. Les sources lumineuses directes et les sources indirectes. Elles peuvent être:

Des sources lumineuses ponctuelles, Ou des sources lumineuses étalées.

Les sources lumineuses étalées peuvent être considérées comme un ensemble de sources lumineuses ponctuelles

Toute source lumineuse directe ou indirecte peut être considérée comme objet. Il peut être réel ou virtuel.

II.1.10.2 Notion d'objet

La lumière incidente, arrivant au système optique définit l'objet.

On distingue deux cas:

Si la lumière arrive au système optique en divergent, l'objet est réel.

Si elle arrive en convergent, l'objet est virtuel.

II.1.10.3 Notion d'image.

La lumière émergente, (s'éloignant) du système optique définit l'image. Elle peut être réelle ou virtuelle.

On distingue aussi deux cas:

Si la lumière s'éloigne du système optique en convergent, la lumière peut être récupérée sur un écran, l'image est réelle.

Si la lumière s'éloigne du système optique en divergent, l'image est virtuelle.

II.1.10.4. Notion d'image intermédiaire

Lorsque le système est **composé** de plusieurs systèmes optiques simples, on définit des **images intermédiaires**

Le **point B** est appelé image **intermédiaire** ou bien **objet** intermédiaire.

Remarques:

1- Dans un **système optique** composé on **ne voit jamais** les **images intermédiaires.**

2- Les **images intermédiaires** sont schématisées pour définir les **différentes positions** ainsi que les **caractéristiques** de l'image **finale.**

3- Dans un système optique on **ne voit que l'image finale.**

II.1.10.5. Notion d'ombre et de pénombre

II.1.10.5.1 Définition de l'ombre

La zone de l'écran qui n'est pas touchée par les rayons lumineux définit la zone **d'ombre**

II.1.10.6. L'indépendance des rayons lumineux

Formons sur un écran l'image **A´** d'un objet **A** par un système optique quelconque

La propagation de l'énergie lumineuse le long d'un rayon lumineux est indépendante des autres rayons lumineux

II.2 Interaction lumière-milieu transparent

Quand la lumière rencontre un milieu homogène et transparent on peut observer deux phénomènes.

- Le phénomène de la **réflexion.**

  Le phénomène de la **réfraction**

Dans la figure suivante la **lumière incidente** est schématisée par le **rayon lumineux (1).** Une partie de la lumière incidente est **réfléchie (2).** Une autre partie est **réfractée (3)** puis **réfléchie**

II.2.1 RÉFLEXION, MIROIR PLAN.

On retrouve deux types de réflexion. La **réflexion spéculaire** et la **réflexion diffuse.**

- La réflexion **diffuse** se produit sur une **surface irrégulière.**

Elle **ne produit pas d'image discernable.** C'est cependant cette sorte de réflexion qui **nous permet de voir** le monde qui nous entoure.

- La réflexion **spéculaire** se produit sur une surface **très lisse** (ex. : **miroir ou surface d'eau** très calme).

Elle **produit une image discernable** d'un objet

Réflexion totale :

Applications du phénomène de réflexion totale :

- fibres optiques « emprisonnant » un faisceau lumineux, utilisées pour les télécommunications.
- Endoscopie médicale

Réflexion spéculaire

C'est une interaction **lumière-matière** qui conduit à une **déviation de la trajectoire** de la lumière du même côté du corps d'où elle est venue.

Après réflexion tous les **rayons lumineux réfléchis** sont **parallèles entre eux** les uns aux autres.

- Réflexion diffuse.

Lorsque la surface de **la cible n'est pas lisse**, la lumière **est réfléchit dans des directions quelconques**.

La réflexion **diffuse rend la route** facile à voir la nuit. Dans **la suite du cours,** on **aborde**ra **uniquement la réflexion spéculaire.**

II.2.1.1 Définition. Le miroir est un **système optique** qui **réfléchit totalement la lumière** incidente.

II.2.1.2 Aspect géométrique.

S: Est la source lumineuse

elle joue le rôle d'objet.

I: Est le point d'incidence,

SI :Est le rayon lumineux incident.

NIN': Est la normale au miroir.

i (SIN): Est l'angle d'incidence.

IR: Est le rayon réfléchit.

i' (NIR): l'angle de réflexion.

S': Est l'image de la source lumineuse.

La direction du rayon lumineux émergent **passe** toujours par **l'œil** de l'observateur et **l'image observée.**

- La normale est une ligne fictive perpendiculaire à la surface, Elle passe par le point d'incidence.
- Le rayon incident fait un angle i avec la normale
- Le rayon réfléchi fait un angle i' avec la normale.
- S' est l'image de S donnée par le miroir.
- La deuxième loi de la réflexion dit que:

Le plan d'incidence et le plan de réflexion sont toujours confondus.

- Le plan d'incidence définit la position de l'objet.

Et le plan de réflexion définit la position de l'observateur

II.2.1.4 Caractéristiques de l'image donnée par un miroir plan.

L'image donnée par un miroir est caractérisée par sa **position** sa **nature** son **orientation** et sa **taille**.

II.2.1.4.1 Conditions et visibilité de l'image.

Ne pas confondre entre **l'existence** de l'image et la **visibilité** de l'image.

- Pour que l'image donnée par le miroir **existe** il faut **qu'il y'ait** au **moins** un **rayon lumineux issu** de **l'objet** et **réfléchit** par le **miroir**.
- Pour que cette image **soit vue** par l'observateur il faut que le rayon **lumineux réfléchit** par le miroir arrive à l'œil de l'observateur.
- L'image est toujours **située** sur le point **d'intersection** de **la normale** passant par **l'objet** et **la direction** du rayon lumineux **émergent**.

II.2.1.4.2 Position de l'image

L'image donnée par réflexion plane est toujours symétrique de l'objet par rapport au miroir HS=HS'

II.2.1.4.3 Nature de l'image

L'image donnée par réflexion est toujours de nature différente de celle de l'objet

A est un objet réel. La lumière incidente est divergente.

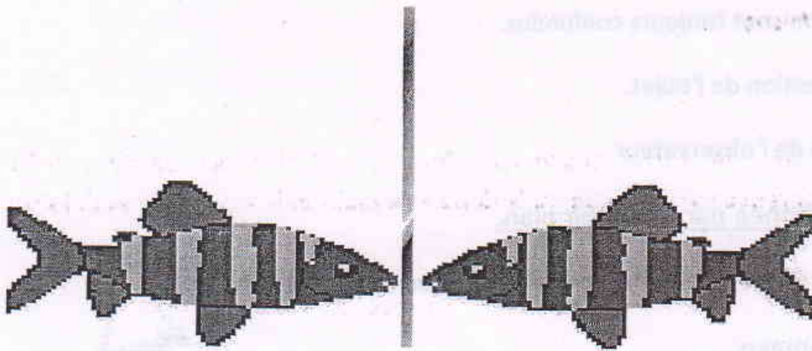
A' est une image virtuelle. La lumière émergente est divergente

A est un objet virtuel. La lumière incidente est convergente.

A' est une image réelle. La lumière émergente est convergente

II.2.1.4.4 Orientation de l'image

L'image donnée par réflexion est toujours orientée dans le sens inverse de l'orientation de l'objet.



II.2.1.4.5. Taille de l'image.

Dans le cas du miroir plan: La taille de l'image est toujours de même grandeur que celle de l'objet

II.2.1.5. Champ de vision et champ du miroir

- L'image de l'objet est vue à travers le miroir si celle-ci se trouve dans le champ du miroir.
- Le champ du miroir est définit par la zone de l'espace délimitée par les directions des rayons lumineux limites, passant par les extrémités du miroir, et arrivant à l'œil de l'observateur.
- Le champ de vision est l'ensemble des objets, donnant des images vues par l'observateur à travers le miroir, il est appelé profondeur de champ.
- II.2.1.7. Rotation des miroirs.

Lorsque l'on fait tourner un miroir plan d'un angle (α) l'image subit deux rotations.

- La première (β) est définie par rapport à la position de l'objet.
- Et la seconde (θ) par rapport à la position du miroir.
- On a l'angle $\beta=\alpha$.

Et l'angle $\theta=2\times\alpha$

II.3. Réfraction Plane, Dioptre Plan

II.3.1 Définition.

On appelle **réfraction** de la lumière le **changement de direction** que la lumière subi à la traversée d'une surface de séparation entre deux milieux transparents. La **réfraction** est le deuxième phénomène qui se produit lorsque le rayon lumineux interagit avec un **système optique**.

Le rayon lumineux incident **traverse** le deuxième milieu en **changeant** de direction

II.3.2 Aspect géométrique et définitions

La surface qui sépare les deux milieux transparents est un système optique appelé DIOPTRE.

- S: Est la source lumineuse,
- I: Le point d'incidence,
- SI: Le rayon incident,
- NIN' :Normale au dioptre,
- i: Angle d'incidence.
- IR': La direction incidente,
- IR: Est le rayon réfracté,
- r: L'angle de réfraction.
- IS': Est la direction réfractée.
- S': Est l'image de S donnée par le dioptre,
- H: Le point d'intersection de la normale passant par l'objet avec le dioptre.

II.3.3 Lois de la Réfraction.

Il existe, aussi, deux lois qui régissent la réfraction de la lumière. Loi de la réfraction:

Comme dans le cas de la réflexion:

➢ la première loi de la réfraction dit que **le plan d'incidence** et le plan de **réfraction** sont **confondu.**

La deuxième loi dite de Snell Descartes dit que $n_{inc}\sin(i) = n_{ref}\sin(r)$

II.3.4 Analyse de la loi de la réfraction

a) **L'objet** peut se trouver dans un milieu **plus réfringent.** C'est le cas du **pécheur** qui joue le rôle d'**observateur** et le **poisson** qui joue le rôle **d'objet.**

L'objet peut se trouver dans le milieu le **moins réfringent**. Le **pécheur** joue le rôle **d'objet** et le poisson joue le rôle **d'observateur**

$$\sin(r) = \left(\frac{n_{inc}}{n_{ref}}\right) \times (\sin(i)) \Rightarrow \begin{cases} \frac{n_{inc}}{n_{ref}} \langle 1 \\ \frac{n_{inc}}{n_{ref}} \rangle 1 \end{cases} \quad et \sin(i) \leq 1$$

trois situations peuvent être observer :

$$\sin(r) = \left(\frac{n_{inc}}{n_{ref}}\right) \times (\sin(i)) \langle 1$$

$$\sin(r) = \left(\frac{n_{inc}}{n_{ref}}\right) \times (\sin(i)) = 1$$

$$\sin(r) = \left(\frac{n_{inc}}{n_{ref}}\right) \times (\sin(i)) \rangle 1$$

II.3.4.1 Cas ou $n_{inc} < n_{ref}$.

L'angle i est : 0 <i< 90°.

L'angle r est conditionné par le rapport n_{inc}/n_{ref} ainsi que la fonction **sinus**.

Si i = 0° ➔ r =0 °

Si i_{max} = 90° ➔ r = r_{max}

$$\sin(r) = \frac{n_{inc}}{n_{ref}} \sin(i) \Rightarrow \quad r = \sin^{-1}\left[\frac{n_{inc}}{n_{ref}} \sin(i)\right] \quad r_{max} = \sin^{-1}\left[\frac{n_{inc}}{n_{ref}} \sin(i_{max})\right]$$

II.3.4.2 Cas ou $n_{inc} > n_{ref}$.

L'angle i est : 0 <i< 90°.

Comme dans le cas précédent, l'angle r est conditionné par le rapport n_{inc}/n_{ref} ainsi que la fonction **sinus**.

Si i = 0° ➔ r =0°

Si i_{max} = 90° ➔ sin(r) >1 impossible. Car la fonction sinus est toujours ≤ 1.

La réfraction ne peut avoir lieu que si sin(r) ≤ 1.

$$\sin(r) = \frac{n_{inc}}{n_{ref}} \sin(i) \rangle 1 \Rightarrow situation\ impossible \quad \sin(r) = \frac{n_{inc}}{n_{ref}} \sin(i$$

Pour résoudre le problème on fait un chemin inverse.

$$\frac{n_{inc}}{n_{ref}} \times \sin(i) = 1$$

on pose $\sin(r_{max}) = 1$ ➔ l'angle r_{max}=90° et on déduit l'angle d'incidence i_{max} correspondant.

$$\sin(r_{max}) = 1 \Rightarrow \frac{n_{inc}}{n_{ref}} \sin(i_{max}) = 1 \Rightarrow \sin(i_{max}) = \frac{n_{ref}}{n_{inc}}$$

La réfraction ne peut avoir lieu dans ce cas, que si l'angle d'incidence i ≤ i_{max}.

i_{max} est dit angle d'incidence limite (maximal), il correspond à valeur maximale de l'angle de réfraction max.

II.3.4.3. Réflexion totale

Lorsque $n_{inc} > n_{ref}$ et que l'angle d'incidence

i > i_{max} ➔ sin(r) > 1, cas impossible, le dioptre se comporte comme un miroir plan.

Le rayon incident est réfléchit totalement avec i =i'. $\sin(r) = \frac{n_{inc}}{n_{ref}} \sin(i) \geq 1$

La simulation suivante permet de comprendre le fonctionnement du système

La réflexion est totale si les deux conditions sont satisfaites : $n_{inc} > n_{ref}$ et que $i > i_{max}$

II.3.5 Caractéristiques de l'image donnée par réfraction

Le dioptre étant un système astigmatique, l'image est nette que si l'angle d'incidence est faible.

L'image est située sur le point d'intersection de la normale passant par l'objet avec la direction du rayon lumineux réfracté.

II.3.5.1 Approximations de Gauss

Pour que l'image soit nette et unique, il faut que les incidences soient faibles.

Dans le cas des incidences faibles, $tg(i) \cong \sin(i)$ et $tg(r) \cong \sin(r)$.

$$\overline{HA}.tg(i) = \overline{HA'}.tg(r) \Rightarrow \overline{HA}.\sin(i) = \overline{HA'}.\sin(r) \Rightarrow \overline{HA'} = \overline{HA}.\frac{\sin(i)}{\sin(r)}$$

On sait aussi que $n_{inc}.\sin(i) = n_{ref}.\sin(r)$

$$\Rightarrow \frac{\sin(i)}{\sin(r)} = \frac{n_{ref}}{n_{inc}} \qquad \Rightarrow \overline{HA'} = \overline{HA}.\frac{n_{ref}}{n_{inc}}$$

II.3.5.2 Position de l'image

L'image donnée par réfraction est toujours située sur le point d'intersection de la normale passant par l'objet avec la direction émergente.

Sa position est donnée par la relation de conjugaison: $\overline{HA'} = \overline{HA}.\frac{n_{ref}}{n_{inc}}$

II.3.5.3 Nature de l'image.

- Cas d'un objet réel.
- La lumière incidente au système optique est divergente on définit un objet réel.
- La lumière émergente du système optique est divergente on définit une image virtuelle.

L'image est de nature différente de celle de l'objet

Cas d'un objet virtuel

La lumière incidente au système optique est convergente on définit un objet virtuel

La lumière émergente du système optique est convergente on définit une image réelle

L'image est toujours de nature différente de celle de l'objet.

II.3.5.4 Orientation et taille de l'image.

L'image donnée par un dioptre plan est toujours de taille différente que celle de l'objet. Elle est orienté dans le même sens de l'objet

II.3.6. Remarques.

Si $n_{inc} < n_{ref}$

- La réfraction est toujours possible.
- L'angle d'incidence est toujours : $0 \leq i \leq 90°$.
- L'angle de réfraction est toujours: $0 \leq r \leq r_{max}$.
- On déduit que r < i et on dit que le rayon réfracté se rapproche de la normale.
- L'image donnée par le dioptre s'éloigne du système optique.
- Le poisson verra l'image du pécheur plus éloignée du système optique.

Si $n_{inc} > n_{ref}$

- La réfraction est conditionnée par : $i < i_{max}$.
- L'angle d'incidence est compris : $0 \leq i \leq i_{max}$.
- L'angle de réfraction est toujours: $0 \leq r \leq 90°$.
- On déduit que r > i et on dit que le rayon réfracté s'éloigne de la normale.
- L'image donnée par le dioptre se rapproche du système optique.

Le pécheur verra l'image du poisson plus proche

II.3.7 Déviation du rayon lumineux

II.3.7.1. Définition.

Elle représente l'angle formé entre la direction incidente et la direction émergente du rayon lumineux.

II.3.7.2. Cas de la réflexion.

$$SIR' = 180° = SIN + NIR + RIR'$$

On a: SIN = NIR = i

180° = 2.i + RIR'

$$\rightarrow D = RIR' = 180° - 2i$$

II.3.7.3. Cas de la réfraction.

Dans le cas de la réfraction, elle est définie par:

$D = i - r$ si $n_{inc} < n_{ref}$

$D = r - i$ si $n_{inc} > n_{ref}$

II.3.8. Applications des lois de réflexions et de réfractions.

II.3.8.1 Lames à faces parallèles.

II.3.8.1.1 Définition.

c'est un système optique délimité par deux dioptres parallèles. La lame ne peut être considérée comme lame à faces parallèles que si le milieu d'incidence et le milieu d'émergence du rayon lumineux soient le même.

II.3.8.1.2. Aspect géométrique

Sur la face d'incidence on a:

$n_{ext} \sin(i) = n_{lame} \sin(r)$

Sur la face d'emergence on a:

$n_{lame} \sin(r') = n_{ext} \sin(i')$

Sachant que les deux normales sont parallèles entre elles on déduit que: r=r'

On déduit que i = i'

A la traversée d'une lame à face parallèle le rayon lumineux émergent subit deux réfractions. Sa direction est toujours parallèle au rayon lumineux incident.

II.3.8.1.3 Différents Déplacements Du Rayon Lumineux

La lame placé parallèlement au plafond, la tache lumineuse se déplace du point A au point B. Ce déplacement est dit parallèle, AB est parallèle à la face de la lame..

- La lame placé perpendiculairement au parterre, la tache lumineuse se déplace du point C au point D. Ce déplacement est dit perpendiculaire, CD est perpendiculaire à la face de la lame..
- La lame est placé latéralement au mur, la tache lumineuse se déplace du point E au point F. Ce déplacement est dit latéral, EF n'est pas parallèle à la face de la lame.
- A la traversée d'une lame à faces parallèle le rayon lumineux subit trois déplacements.
- Un déplacement parallèle.
- Un déplacement perpendiculaire.
- Un déplacement latéral.

II.3.8.1.4. Caractéristiques de l'image donnée par une lame à faces parallèles.

II.3.8.1.4.1. Conditions de gauss

Sachant que l'image est le résultat de deux réfractions, et que le dioptre est un système astigmatique. L'image est nette que si les incidences sont faibles.

Dans le cas des faibles incidences on a : $\overline{IM} = \overline{SS'}$

$\overline{IM}$: Est le déplacement perpendiculaire, il est définit par

$$\overline{SS'} = \overline{IM} = e\times\left[1-\frac{tg(r)}{tg(i)}\right]. \Rightarrow \overline{SS'} = \overline{IM} = e\times\left[1-\frac{sin(r)}{sin(i)}\right].$$

Dans le cas des faibles incidences on a: tg(i) = sin(i) et tg(r) = sin(r)

On sait aussi que : n_{inc} sin(i) = n_{ref} sin(r) $\Rightarrow \frac{sin(r)}{sin(i)} = \frac{n_{inc}}{n_{ref}}$. $\Rightarrow \overline{SS'} = e\times\left[1-\frac{n_{inc}}{n_{ref}}\right] = e\times\left[\frac{n_{ref}-n_{inc}}{n_{ref}}\right]$

$$\overline{SS'} = e\times\left[\frac{n_{ref}-n_{inc}}{n_{ref}}\right]$$

II.3.8.1.4.2. Position de l'image.

Elle est située sur le point d'intersection de la normale passant par l'objet avec la direction émergeante.

$$\overline{SS'} = e\times\left[\frac{n_{ref}-n_{inc}}{n_{ref}}\right]$$

Deux situations peuvent se présentées:

- Soit que $n_{ref} > n_{inc}$ → SS' > 0 → l'image se rapproche du système optique. Dans le sens positif de propagation de la lumière.
- Soit que $n_{ref} < n_{inc}$ → SS' < 0 → l'image s'éloigne du système optique. Dans le sens opposé que celui de propagation de la lumière.

II.3.8.1.4.3. Nature de l'image.

L'objet (S) est réel.

L'image (S')est virtuelle

L'objet (S) est virtuel.

L'image (S') est réelle.

La nature de l'image est différente de celle de l'objet

II.3.8.1.4.4.Taille et orientation de l'image

L'image est orientée dans le même sens de l'objet, elle est de même grandeur que l'objet.

II.3.8.2 Prisme

II.3.8.2.1 Définition

C'est un **système optique** (milieu homogène transparent) délimité par deux **dioptres** non parallèles.

Il permet de **disperser** la lumière incidente, après sa traversée du prisme

La lumière **incidente** étant **poly chromatique**, i.e., blanche, (plusieurs couleurs), à l'émergence elle devient **mono chromatique** (une seule couleur).

II.3.8.2.2. Rôle et aspect géométrique

L'angle au **sommet** est l'angle formé par la face **d'incidence** et la face **d'émergence** du rayon lumineux.

la face opposée á l'angle au sommet et dite la **base du prisme**

- L'intersection des deux faces (dioptres) constitue l'arête du prisme.

Si le rayon lumineux arrive du coté de l'angle au sommet il est pris **négativement**, sinon, **il est positif**.

II.3.8.2.3 Marche du rayon lumineux.

L'indice du prisme étant n_p, il est placé dans le milieu extérieur d'indice n_{ext}. **AB face d'incidence, AC face d'émergence, A** angle au **sommet.**

S: la source lumineuse, **SI** rayon incident, **IR** la direction incidente.

i: angle d'incidence, **r:** angle de réfraction, **J** point d émergence, **JR'** direction incidente sur la face d'émergence

$$\text{sur la face d'incidence on a} : n_{ext} \times \sin(i) = n_p \times \sin(r)$$

r': angle d'incidence sur AC, **i'** angle d'émergence

$$\text{sur la face d'emergence on a} : n_p \times \sin(r') = n_{ext} \times \sin(i')$$

II.3.8.2.4. Relation entre les angles de réfractions interne.

Dans le triangle AIJ, on a: A + I + J = 180°

A: est l'angle au sommet du prisme,

I = 90° - r et J = 90° - r'

➔A + (90° - r) + (90° - r') = 180°

A + 180° - (r + r') = 180° **A = r + r'**

II.3.8.2.5. Déviation du rayon lumineux

II.3.8.2.5.1. Définition

Elle représente **l'angle** formé par la **direction incidente** et la direction **émergente** du rayon lumineux.

$D_p = D_{AB} + D_{AC}$ **Avec DAB = i - r** **Et DAC = i' – r'**

On déduit que la déviation Dp = (i – r) + (i' – r')

Dp = (i + i') – (r + r')

Avec r + r' = A, on déduit que: Dp = i + i' - A

II.3.8.2.5.2. Relations fondamentales.

- Il existe quatre relations fondamentales du prisme qui permettent de calculer les quatre inconnues (i', r, r', Dp) en fonction des éléments connus (i, A, next et np).

Sur la face AB: $$n_{ext} \times \sin(i) = n_p \times \sin(r)$$

Sur la face AC: $$n_p \times \sin(r') = n_{ext} \times \sin(i')$$

Relation des angles r et r': A = r + r'

La déviation: Dp = i + i' - A

On en déduit par exemple la déviation Dp(i, A, n).

II.3.8.2.6. Conditions d'utilisation du prisme.

Le rayon incident pénètre dans le prisme quelque soit l'angle d'incidence i, puisque np > next. En revanche, le rayon émergent ne ressort du prisme que si la réfraction est possible.

Deux conditions doivent êtres satisfaites.

II.3.8.2.6.1. Condition d'incidence

Sur le plan théorique on a:

Sur la face AB: 0 ≤ i ≤ 90°.

Et 0 ≤ r ≤ θl.

Sur la face AC: $0 \leq r' \leq r'max = \theta 1$.

Et $0 \leq i' \leq 90°$.

Sur la face d'émergence, np sin (r') = next sin(i')

Lors de l'émergence rasante (i' = 90°) on a : sin (r') ≤ next / nprisme

d'où: $r' \leq \theta 1$.

Sachant que : $r' = (A - r) \leq \theta 1$ $r \geq A - \theta l$

sin r ≥ sin (A – θl): on multiplie les deux équations par np

np sin r ≥ np sin (A – θl)

next sin(i) ≥ next sin(i0) sin i ≥ sin io

La condition correspondante pour l'angle d'incidence i constitue la première condition d'émergence :

io < i < 90° avec io = arc sin [np sin (A- θl)]

II.3.8.2.6.2. Condition d'émergence.

En plus de la première condition, il existe une autre condition a satisfaire pour que le rayon lumineux émerge du prisme.

Les angles de réfractions interne sur les deux faces sont: $0 \leq r \leq \theta l$. + $0 \leq r' \leq \theta l$ = $0 \leq r + r' \leq 2 \times \theta l$.

On sait que r + r' = A, angle du prisme. On déduit que la première condition dite d'émergence est la suivante:

$A \leq 2 \times \theta l$

II.3.8.2.6.3. Étude de la déviation

La tache T se déplace sur l'écran suivant le trajet (a) puis reste un instant stationnaire en Tm pour se déplacer finalement en sens inverse suivant le trajet (b)

Conclusion : quand i varie, D décroît, passe par un minimum et croît ensuite

L'expérience montre qu'il existe une valeur imin de l'angle d'incidence i qui rend la déviation D minimale.

Si i = im D = Dmin minimum de déviation

Après calculs, on montre que la déviation est minimale si :

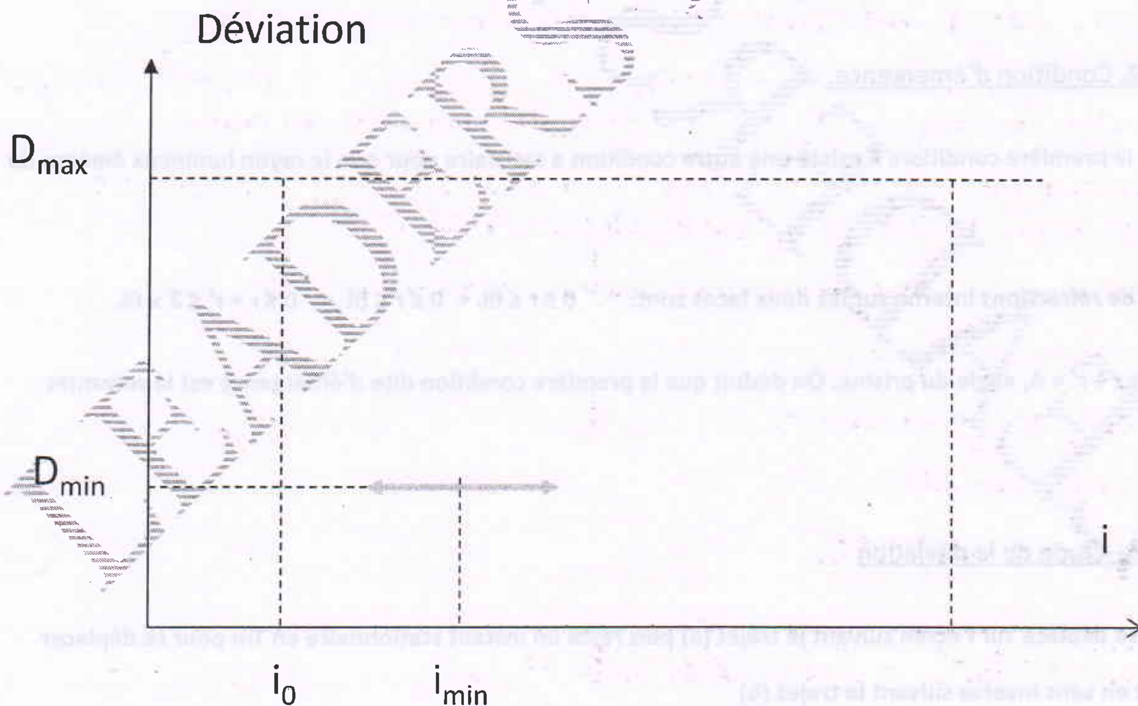
$$r = r' = \frac{A}{2} \qquad i = i' = i_{min} = \frac{A + D_{min}}{2}$$

En substituant dans next × sin (i) = np × sin (r), on obtient la formule de Fraunhofer, utile pour mesurer l'indice du prisme :

$$n_p = \frac{n_{ext} \times \sin\left(\frac{A + D_{min}}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$$

<u>Remarque</u> : au minimum de déviation le rayon lumineux a un parcours symétrique par rapport au plan bissecteur de l'angle du prisme (r=r' et i=i').

<u>II.3.8.2.7.Variation de la déviation (D) en fonction de (i)</u>



II.4 Lame à faces parallèles

4.1.1. Définition: c'est un système optique délimité par deux dioptres parallèles. La lame ne peut être considérée comme lame à faces parallèles que si le milieu d'incidence et le milieu d'émergence du rayon lumineux soient le même.

II.4.2.Aspect géométrique

Sur la face d'incidence on a:

$$n_{ext} \sin(i) = n_{lame} \sin(r)$$

Sachant que les deux normales sont parallèles entre elles on déduit que: $r = r'$

Sur la face d'emergence on a:

$$n_{lame} \sin(r') = n_{ext} \sin(i')$$

On déduit que i = i'

A la traversée d'une lame à face parallèle le rayon lumineux émergent subit deux réfractions. Sa direction est toujours parallèle au rayon lumineux incident.

II.4.3 Différents déplacements du rayon lumineux.

- La lame placé parallèlement au plafond, la tache lumineuse se déplace du point A au point B. Ce déplacement est dit parallèle, AB est parallèle à la face de la lame..
- La lame placé perpendiculairement au parterre, la tache lumineuse se déplace du point C au point D. Ce déplacement est dit perpendiculaire, CD est perpendiculaire à la face de la lame..
- La lame est placé latéralement au mur, la tache lumineuse se déplace du point E au point F. Ce déplacement est dit latéral, EF n'est pas parallèle à la face de la lame.

A la traversée d'une lame à faces parallèle le rayon lumineux subit trois déplacements

a) Un déplacement parallèle.

b) Un déplacement perpendiculaire.

c) Un déplacement latéral.

II.4.3.1 Déplacement parallèle (JK).

$$\overline{JK} = \overline{LK} - \overline{LJ} \text{ avec } \overline{IL} = e$$

$$\text{Dans le triangle ILK} \Rightarrow \text{tg}(i) = \frac{\overline{LK}}{\overline{IL}}$$

$$\Rightarrow \overline{LK} = \overline{IL} \times \text{tg}(i) = e \times \text{tg}(i).$$

Dans le triangle ILJ $\Rightarrow$ $tg(r) = \dfrac{\overline{LJ}}{\overline{IL}}$

$\Rightarrow \overline{LJ} = \overline{IL} \times tg(r) = e \times tg(r)$.

Ce qui donne : $\overline{JK} = \overline{LK} - \overline{LJ} = \overline{IL} \times [tg(i) - tg(r)]$

$\Rightarrow \overline{JK} = e \times [tg(i) - tg(r)]$

$$\overline{JK} = e \times [tg(i) - tg(r)]$$

II.4.3.2 Déplacement perpendiculaire (IM).

$$\overline{IM} = \overline{IL} - \overline{ML} \text{ avec } \overline{IL} = e$$

Dans le triangle MLJ $\Rightarrow tg(i) = \dfrac{\overline{LJ}}{\overline{ML}} \Rightarrow \overline{ML} = \dfrac{\overline{LJ}}{tg(i)}$

Sachant que IL = e $\Rightarrow$ ce qui donne :

$\overline{IM} = e - e \times \dfrac{tg(r)}{tg(i)} = e \times \left[1 - \dfrac{tg(r)}{tg(i)}\right]$

$$\overline{IM} = e \times \left[1 - \frac{tg(r)}{tg(i)}\right]$$

II.4.3.3 Déplacement latérale (IH).

IH : est la normale aux deux directions passant par le point d'incidence I.

Dans le tringle IJH,
on a $\alpha = i -$ $\Rightarrow \sin(\alpha) = \dfrac{\overline{IH}}{\overline{IJ}}$

(1) Donc $\overline{IH} = \overline{IJ} \times \sin(\alpha)$

Dans le triangle IJL $\cos(r) = \dfrac{\overline{IL}}{\overline{IJ}}$ $\Rightarrow \overline{IJ} = \dfrac{\overline{IL}}{\cos(r)} = \dfrac{e}{\cos(r)}$

L'équation (1) devient $\overline{IH} = \dfrac{e}{\cos(r)} \times \sin(i - r)$

II.4.4. Caractéristiques de l'image donnée par une lame à faces parallèles.

II.4.4.1. Conditions de gauss

Sachant que l'image est le résultat de deux réfractions, et que le dioptre est un système astigmatique. L'image est nette que si les incidences sont faibles.

Dans le cas des faibles incidences on a : $\overline{IM} = \overline{SS'}$

$\overline{IM}$: Est le déplacement perpendiculaire, il est définit par $\overline{SS'} = \overline{IM} = e \times \left[1 - \frac{tg(r)}{tg(i)}\right] \Rightarrow \overline{SS'} = \overline{IM} = e \times \left[1 - \frac{sin(r)}{sin(i)}\right]$

Dans le cas des faibles incidences on a:

tg(i) = sin(i) et tg(r) = sin(r)

On sait aussi que : n_{inc} sin(i) = n_{ref} sin(r)

$$\Rightarrow \frac{sin(r)}{sin(i)} = \frac{n_{inc}}{n_{ref}}. \quad \Rightarrow \overline{SS'} = e \times \left[1 - \frac{n_{inc}}{n_{ref}}\right] = e \times \left[\frac{n_{ref} - n_{inc}}{n_{ref}}\right] \quad \overline{SS'} = e \times \left[\frac{n_{ref} - n_{inc}}{n_{ref}}\right]$$

II.4.4.2. Position de l'image

$\overline{SS'} = e \times \left[\frac{n_{ref} - n_{inc}}{n_{ref}}\right]$ point d'intersection de la normale passant par l'objet avec la direction émergeante.

Deux situations peuvent se présentées:

- Soit que $n_{ref} > n_{inc}$ → SS' > 0 → l'image se rapproche du système optique. Dans le sens positif de propagation de la lumière.
- Soit que $n_{ref} < n_{inc}$ → SS' < 0 → l'image s'éloigne du système optique. Dans le sens opposé que celui de propagation de la lumière.

II.4.4.3. Nature de l'image

L'objet (S) est réel.

L'image (S')est virtuelle.

L'objet (S) est virtuel

L'image (S') est réelle

La nature de l'image est différente de celle de l'objet

II.4.4.4. Taille et orientation de l'image

L'image est orientée dans le même sens de l'objet, elle est de même grandeur que l'objet.

Prisme

Définitions : milieu homogène, transparent d'indice n limité par deux dioptres plans non parallèles.

L'intersection de ces dioptres constitue l'arête du prisme

Un prisme réalise deux actions

. Dévier la lumière de la même manière aux deux interfaces d'entrée et de sortie

. Étaler les couleurs à cause de la dispersion

Marche d 'un rayon lumineux. Formules du prisme

On suppose le prisme placé dans l'air d'indice 1

Réfraction au point d'incidence $\sin i = n \sin r$

Réfraction au point d'émergence $\sin i' = n \sin r'$

Dans triangle IJI' l'angle I'JL (extérieur) = somme des angles intérieurs : r+r' $A = r + r'$

Déviation d'un rayon

Si on prolonge le rayon incident il coupe le rayon émergent en K

Angle MKI' = déviation D du rayon incident lors de sa traversée du prisme

D est l'angle extérieur du triangle KII' $D = (i - r) + (i' - r') = i + i' - (r + r')$ $D = i + i' - A$

La déviation D est l'angle dont le prisme dévie les rayons lumineux. Le rayon émergent est toujours dévié vers la base du prisme (D > 0).

Comme l'indice de réfraction du prisme dépend de la longueur d'onde l de la lumière incidente, l'angle de déviation D dépend de la couleur de la lumière qui traverse le prisme : c'est le phénomène de dispersion de la lumière qui fait du prisme un élément utile en spectroscopie.

- Relations fondamentales
- Il existe quatre relations fondamentales du prisme qui permettent de calculer les quatre inconnues (i', r, r', D) en fonction des éléments connus (i, A, n).

$\sin i = n \sin r$ $\sin i' = n \sin r'$

$A = r + r'$ $D = i + i' - A$

On en déduit par exemple la déviation D(i, A, n).

Étude de la déviation

On fait tourner le prisme autour de son arête dans le sens de la flèche =Angle d'incidence croît régulièrement

La tache T se déplace sur l'écran suivant le trajet (a) puis reste un instant stationnaire en T_m pour se déplacer finalement en sens inverse suivant le trajet (b)

Conclusion : quand i varie, D décroît, passe par un minimum et croît ensuite

L'expérience montre qu'il existe une valeur i_m de l'angle d'incidence i qui rend la déviation D minimale.

$i_m =$ D_m minimum de déviation

Après calculs, la seule solution acceptable est :

$$i = i' = i_m = \frac{A + D_m}{2} \qquad r = r' = \frac{A}{2}$$

En substituant dans sin i= n sin r, on obtient la formule de Fraunhofer, utile pour mesurer l'indice du prisme :

$$n = \frac{\sin\left(\frac{A + D_m}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$$

<u>Remarque</u> : au minimum de déviation le rayon lumineux a un parcours symétrique par rapport au plan bissecteur de l'angle du prisme (r=r' et i=i').

Variation de D en fonction de i

Influence de l'indice n

n ↘ Quand λ ↗ ➡ $n_R < n_B$

$$\sin(r_R) = \frac{\sin i}{n_R} \quad \sin(r_B) = \frac{\sin i}{n_B} \quad r_B < r_R$$

Comme r' = A-r

$r'_B > r'_R$. $n_B \sin r'_B > n_R \sin r'_R$ ∴ $i'_B > i'_R$. Mais : D = i + i' –A. $D_B > D_R$

FIN DU CHAPITRE

Influence de l'angle du prisme

Si on fait croître l 'angle du prisme (flèche 1) la tache T se déplace dans

Le sens de la flèche 1'

D croît avec A

Prisme aux petits angles

Dans le cas où les angles A et i sont faibles, les lois de Descartes se simplifient selon :

i = n r et i' = n r'.

On obtient alors facilement une expression simplifiée de l'angle de déviation :

$D=(n-1)A$ **La déviation ne dépend plus de l 'angle d 'incidence**

Pourquoi un arc en ciel ?

L'arc en ciel est un phénomène de dispersion de lumière sur un mur d'eau formé de milliers de gouttes d'eau.

Puisque la taille des gouttes d'eau est très grande devant la longueur d'onde de la lumière, on peut appliquer les règles de l'optique géométrique à une goutte d'eau sphérique d'indice n environ égal à 1.33.

L'addition des angles en jaune sur la figure donne la valeur de la déviation du rayon réfléchi par rapport au rayon solaire incident.

$D=\pi+2i-4r$

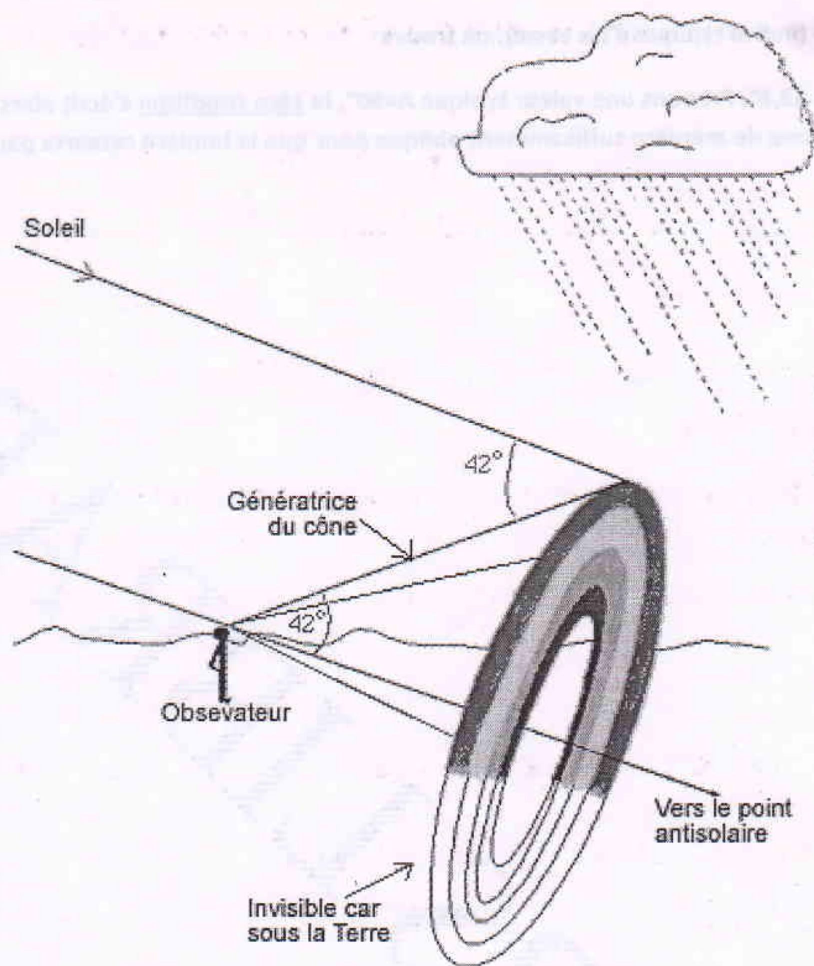
Si l'on ne travaille pas avec des angles orientés, la déviation est donnée par l'angle : $A=\pi-D$

$-\frac{\pi}{2}\leq i\leq\frac{\pi}{2}$ = les rayons sont réfléchis dans toutes les directions

mais il existe une grande plage de valeurs de i pour laquelle A est à peu près constant (maximum de la fonction).

Comme pour le prisme, la déviation dépend de l'indice qui lui-même dépend de la longueur d'onde (couleur) du rayon lumineux.

- Les rouges seront les plus déviés donc ils apparaissent à l'extérieur de l'arc en ciel.
- Les rayons bleus sont déviés d'un angle A=40.6° et les rayons rouge d'un angle A=42.0°.



Conditions d'émergence

Le rayon incident pénètre dans le prisme quelque soit l'angle d'incidence i, puisque n > 1. En revanche, le rayon émergent ne ressort sur la face de sortie que si la réfraction (vers un milieu moins réfringent ici) est possible

Il faut donc que $\sin r' < 1/n$ d'où : $r' < l$ avec $l = \arcsin(1/n)$.

$r' = A - r \leq l$ $r \geq A - l$ $\sin r \geq \sin(A - l)$ $n \sin r = \sin i \geq n \sin(A - l) = \sin i_o$ $\sin i \geq \sin io$

La condition correspondante pour l'angle d'incidence i constitue la première condition d'émergence :

$90° > i > io$ avec $io = \arcsin[n \sin(A-l)]$

On a $r' \leq l$ de plus $\sin i = n \sin r$ avec $\sin i \leq 1$

$n \sin r \leq 1$ $\sin r \leq 1/n = \sin l$ $r \leq l$

D'où la deuxième condition :

$A = r + r' \leq 2l$

Exemple : si n=1,5 (indice typique d'un verre), on trouve

I = 41,8° A < 83,6°. Prenons une valeur typique A=60°, la 1ère condition s'écrit alors 28° < i < 90°. Il faut donc éclairer le prisme de manière suffisamment oblique pour que la lumière ressorte par la face de sortie

OF' > 0 Conver $\frac{1}{OF'} > 0$ $\frac{1}{OF'}$ = vergence
OF' < 0 diverg $\frac{1}{OF'} < 0$

II.4. Lentilles minces.

II.4.1. Généralités.

- Une lentille mince consiste en une pièce de verre ou de plastique façonnée de telle sorte que chacune de ses deux surfaces réfractantes est soit une portion de sphère, soit un plan.
- Les lentilles sont couramment utilisées pour former des images par réfraction dans les instruments d'optique (caméra, microscope, etc….).
- Il existe deux type de lentilles minces, les lentilles minces convergentes et les lentilles minces divergentes.

II.4.2. Définition.

C'est un système optique délimité par deux dioptres dont l'un est sphérique. Il existe trois formes de lentilles minces convergentes et trois formes de lentilles minces divergentes

II.4.3.Aspect géométrique des lentilles convergentes.

II.4.3.1 Lentille biconvexe.

La lentille est dite mince si l'épaisseur e est négligeable devants les rayons de courbures R_{inc} et R_{ref}. Donc $S_{inc} \approx S_{ref} \approx O$

II.4.3.2 Ménisque convergent

II.4.3.3 lentille plan-convexe.

II.4.4.Schématisation des lentilles convergentes.

Les trois formes précédentes des lentilles sont convergentes, elles sont schématisées par:

- Un axe principal qui représente le sens de propagation de la lumière. Cet axe est toujours orienté.
- Un centre optique (O), les sommets S_{inc} et S_{ref} sont confondus.
- Une lentille convergente, c'est un segment de droite orienté.
- Le foyer principal image (F') et le foyer principal objet (F).
- Ces lentilles sont convergentes, elles sont dites à bords minces.

II.4.4.1. Foyers principaux et distances focales.

II.4.4.1.1. Remarques préliminaires

- Les rayons parallèles incidents sur un système optique sont considérés comme issus d'un point situé à l'infini. En particulier, tous les rayons parallèles à l'axe principal peuvent être considérés comme provenant d'un objet à l'infini sur l'axe principal.

Le terme "à l'infini" indique, dans la pratique, une distance très grande devant toutes les dimensions caractéristiques du système optique.

II.4.4.1.2. Définition du foyer principal image.

Le point de convergence de la lumière émergente, arrivant parallèlement à l'axe optique définit le foyer principal image.

Le point objet A est rejeté à l'infini, le point image A' est situé sur le foyer principal image (F').

II.4.4.1.3. Définition du foyer principal objet.

Le point de divergence de la lumière incidente, qui émerge parallèlement à l'axe optique, définit le foyer principal objet

Le point objet A est placé sur le foyer principal objet (F), le point image A' est rejeté à l'infini.

II.4.4.2. Foyers secondaires.

II.4.4.2.1 Définition de l'axe secondaire.

Tous axe passant par le centre optique (O) est dit axe secondaire, il existe une infinité d'axe secondaire.

II.4.4.2.2 Foyer secondaire image.

Le point de convergence de la lumière émergente, arrivant parallèlement à l'axe secondaire définit le foyer secondaire image.

II.4.4.2.3 Foyer secondaire objet.

Le point de divergence de la lumière incidente, émergente parallèlement à l'axe secondaire définit le foyer secondaire objet.

II.4.4.3. Plans focaux.

Il existe deux plans focaux, ils représentent l'ensemble des foyers de la lentille.

II.4.4.3.1 Plan focal objet.

L'ensemble des foyers secondaires objets définissent le plan focal objet.

II.4.4.3.2 Plan focal image.

L'ensemble des foyers secondaires images définissent le plan focal image

II.4.5 Aspect géométrique des lentilles divergentes.

II.4.5.1 Lentille biconcave

La lentille est dite mince si l'épaisseur e est négligeable devants les rayons de courbures **R_{inc} et R_{ref}. Donc $S_{inc} \approx S_{ref} \approx O$**

II.4.5.2 Ménisque divergent

II.4.5.3 lentille plan-concave

II.4.6.Schématisation des lentilles divergentes.

Les trois formes précédentes des lentilles sont divergentes, elles sont schématisées par:

- Un axe principal qui représente le sens de propagation de la lumière. Cet axe est toujours orienté.
- Un centre optique (O), les sommets S_{inc} et S_{ref} sont confondus.
- Une lentille divergente, c'est un segment de droite orienté.
- Le foyer principal image (F') et le foyer principal objet (F).
- Ces lentilles sont divergentes, elles sont dites à bords épais

II.4.6.1. Foyers principaux et distances focales.

II.4.6.1.1. Remarques préliminaires.

- Les rayons parallèles incidents sur un système optique sont considérés comme issus d'un point situé à l'infini. En particulier, tous les rayons parallèles à l'axe principal peuvent être considérés comme provenant d'un objet à l'infini sur l'axe principal.
    - Le terme "à l'infini" indique, dans la pratique, une distance très grande devant toutes les dimensions caractéristiques du système optique.

II.4.6.1.2. Définition du foyer principal image.

Le point de divergence de la lumière émergente, arrivant parallèlement à l'axe optique définit le foyer principal image.

II.4.6.1.3. Définition du foyer principal objet.

Le point de convergence de la lumière incidente, émergente parallèlement à l'axe optique, définit le foyer principal objet.

II.4.6.2. Foyers secondaires.

II.4.6.2.1 Définition de l'axe secondaire.

Tous axe passant par le centre optique (O) est dit axe secondaire, il existe une infinité d'axe secondaire.

II.4.6.2.2 Définition du foyer secondaire image.

Le point de divergence de la lumière émergente, arrivant parallèlement à l'axe secondaire définit le foyer secondaire image.

II.4.6.2.3 Définition du foyer secondaire objet.

Le point de convergence de la lumière incidente, émergente parallèlement à l'axe secondaire définit le foyer secondaire objet.

II.4.6.3. Plans focaux.

Il existe deux plans focaux, ils représentent l'ensemble des foyers de la lentille.

II.4.6.3.1 Plan focal objet.

L'ensemble des foyers secondaires objets définissent le plan focal objet.

II.4.6.3.2 Plan focal image.

Et l'ensemble des foyers secondaires images définissent le plan focal image.

II.4.6.4. Remarques.

- Pour les deux types de lentilles, la position des foyers est symétrique par rapport au centre optique O de la lentille: /of'/=/of/
- la distance focale est donnée par: $C=\frac{1}{OF'}=\left[\frac{n_{lentille}}{n_{exterieur}}-1\right]\left[\frac{1}{R_{inc}}-\frac{1}{R_{emer}}\right]$
- C est dite la vergence de la lentille.
- lentille convergente OF < 0 et OF' >0
- lentille divergente OF > 0 et OF' <0

Tout rayon passant par le centre optique O ne subit aucune déviation

II.4.7 Caractéristiques de l'image.

L'image donnée par une lentille mince est caractérisée par sa position, sa nature, sa taille ainsi que son orientation.

II.4.7.1. Position de l'image, relation de conjugaison.

La position de l'image donnée par une lentille mince dépend de la position de l'objet ainsi que de la nature de celle-ci.

$$tg\,\theta=\frac{\overline{OP}}{\overline{OF'}}=\frac{\overline{AB}}{\overline{OF'}}=\frac{\overline{A'B'}}{\overline{A'F'}}$$

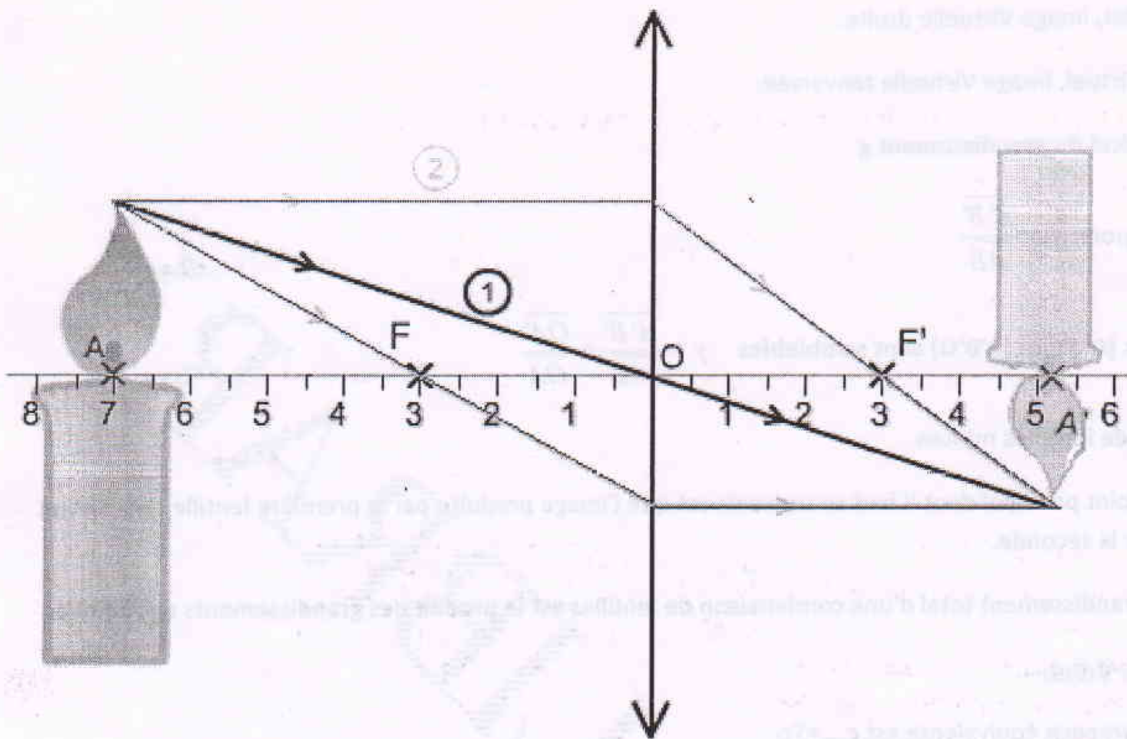
$$\frac{\overline{AB}}{\overline{OF'}}=\frac{\overline{A'B'}}{\overline{A'O}+\overline{OF'}}$$

$$\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}=\frac{\overline{A'O}+\overline{OF'}}{\overline{OF'}}=\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

$$\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}=1-\frac{\overline{OA'}}{\overline{OF'}}$$

$$\frac{1}{\overline{OA'}}-\frac{1}{\overline{OA}}=\frac{1}{\overline{OF'}}=-\frac{1}{\overline{OF}}$$

La relation de conjugaison est donnée par:



II.4.7.2. Nature de l'image.

L'image donnée par une lentille mince peut être réelle ou virtuelle.

II.4.7.1. Orientation et taille de l'image.

La taille de l'image donnée par une lentille est différente de celle de l'objet. Elle peut être droite ou renversée.

II.4.8. construction géométrique des images.

Utilisation de 2 rayons particuliers simples (sur 3 possibles)

- ❑ Un rayon lumineux parallèle à l'axe principal passe par (ou semble venir de) un des foyers.
- ❑ Un rayon qui passe par le centre optique O de la lentille qui n'est pas dévié
- ❑ Un rayon qui passe par le foyer objet de la lentille, émerge de la lentille parallèlement à l'axe principal

II.4.8.1. Exemples de lentilles convergente

A- objet réel image réelle. L'image est réelle, renversée elle peut être plus grande ou plus petite

B- Objet réel image virtuelle. L'image est virtuelle droite.

II.4.8.2. Exemples de lentilles divergentes

A- Objet réel, Image Virtuelle droite.

B- Objet Virtuel, Image Virtuelle renversée.

Calcul du grandissement g

C 'est le rapport $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$

Les triangles (ABO) et (A'B'O) sont semblables $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$

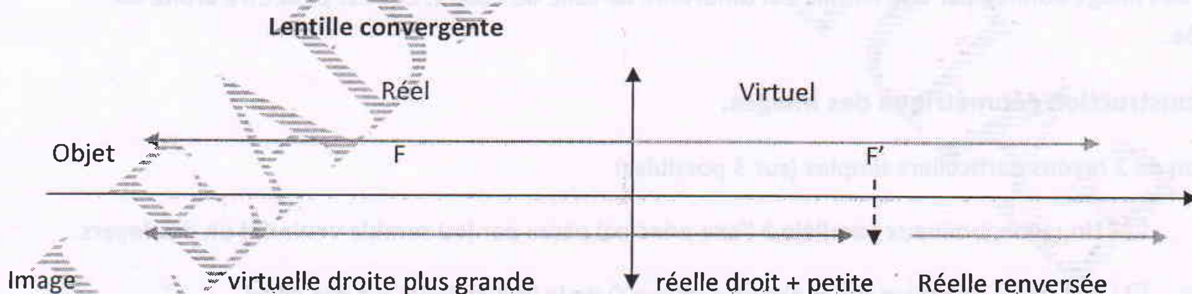
Association de lentilles minces

- Le point principal dont il faut se souvenir est que l'image produite par la première lentille sert d'objet pour la seconde.
- Le grandissement total d'une combinaison de lentilles est le produit des grandissements des lentilles
- $g_{total}=g_1 g_2 g_3 ....$
- La vergence équivalente est $c_{equ}=\sum c_i$

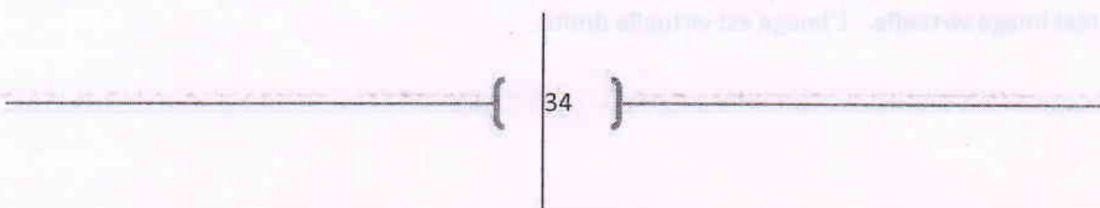
Zones conjuguées Position de l 'objet → Formules de conjugaison → Position de l'image et grandissement

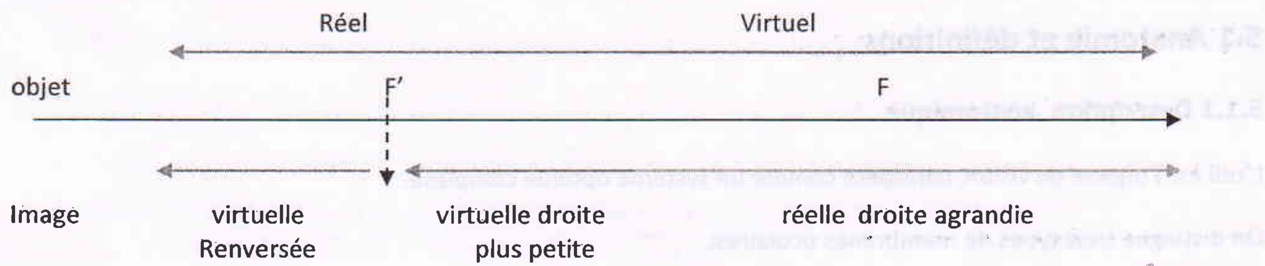
On peut établir des correspondances entre les zones d'espace objet et image. ⟹ Zones conjuguées

Lentille convergente



Lentille divergente





Les représentations précédentes démontrent les propriétés suivantes :

L'image d'un objet virtuel donnée par une lentille convergente est toujours réelle (et plus petite).

L'image d'un objet réel donnée par une lentille divergente est toujours virtuelle.

5.1 Anatomie et définitions

5.1.1 Description anatomique

L'œil est l'organe de vision, considéré comme un système optique complexe.

On distingue trois types de membranes oculaires:

- La **sclérotique** est une membrane externe protectrice qui forme le blanc de l'œil.

Elle se fond avec la **cornée** à lavant de l'œil.

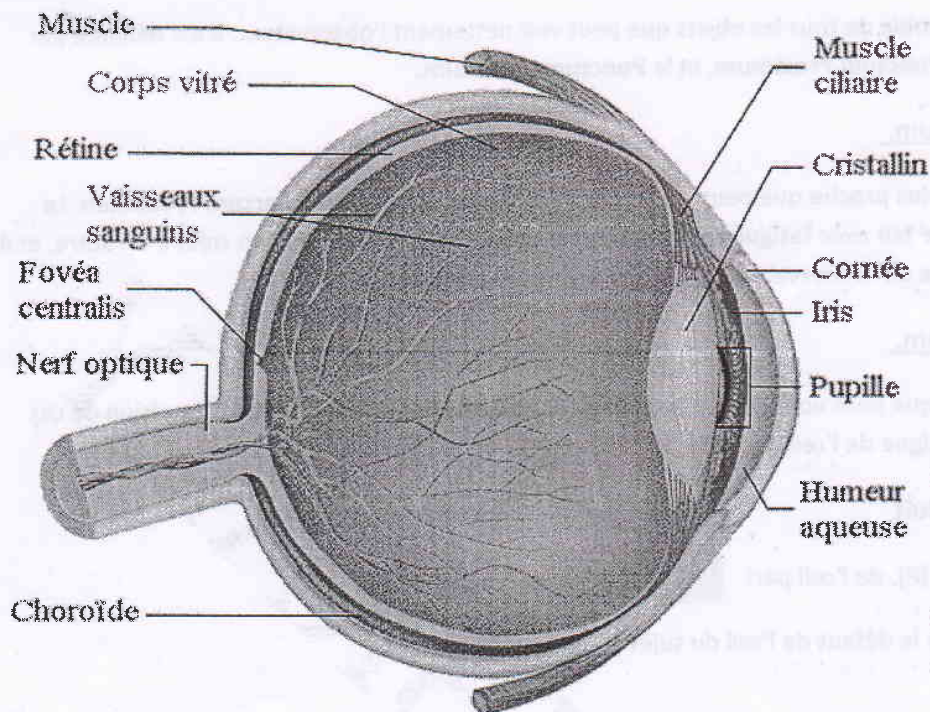
- La **choroïde** membrane qui contient les **pigments** et les **vaisseaux** est située sous la **sclérotique**, elle se termine par **l'iris** qui détermine la couleur de l'œil.
- La **rétine** membrane plus interne est constituée de **cellules sensibles** à la lumière, ces cellules transmettent la lumière au **nerf optique** sous forme de signal nerveux.

Le point d'entrée du nerf optique appelé **papille** est insensible à la lumière.

De l'extérieur vers l'intérieur, la lumière traverse :

- **La cornée transparente**: c'est une membrane résistante et dure d'épaisseur 1 mm et d'indice de réfraction de 1,35.
- **L'humeur aqueuse:** c'est un liquide clair d'indice de réfraction 1,33 traversé par la lumière sur une épaisseur de 4 mm.
- **Le cristallin**: joue le rôle d'une lentille convergente, son rayon de courbure est variable grâce à son élasticité. Son épaisseur moyenne est de 4 mm et son indice de réfraction est de 1,45.
- **L'humeur vitrée :** est une substance gélatineuse, d'indice de réfraction 1,33 traversé par la lumière sur une épaisseur de 15 mm.
- **La rétine:** membrane transparente très mince (0,5 mm), elle forme sur le fond du globe oculaire un véritable écran, qui reçoit les images des objets examinés
- **L'iris:** de couleur divers selon les sujets, il constitue une cloison circulaire au centre duquel se trouve une petite ouverture appelé la **pupille**.
- **La pupille:** est un véritable régulateur de l'intensité lumineuse qui pénètre dans l'œil. L'ouverture de la pupille **augmente** si l'intensité lumineuse **diminue**.
- En fin sur l'axe commun à l'ensemble des dioptres sphériques se trouve le centre **C** du globe oculaire

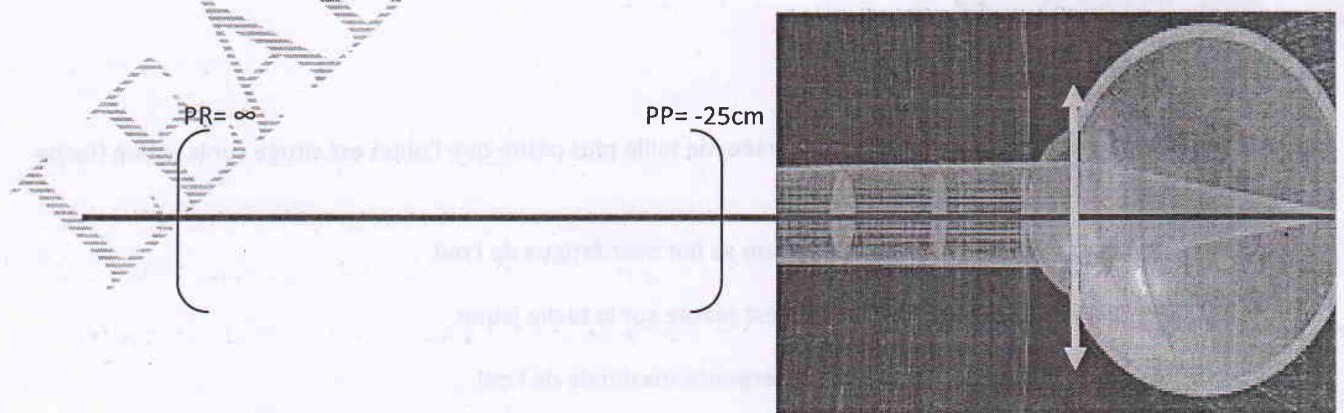
L'ensemble de tous ces dioptres sphériques se comportent comme une lentille **convergente particulière**.



5.1.2 Schématisation de l'œil réduit

L'ensemble des dioptres sphériques que forment l'œil définissent l'œil réduit, il est schématisé par:

- **Un axe principal:** il représente le sens de propagation de la lumière, il est dit axe optique ou visuel.
- **Une lentille convergente,** de distance focale variable, de centre optique **(O)**.
- **La tache jaune (TJ),** position de toutes les images de tous les objets observés.
- **Le champ de vision,** est l'ensemble de tous les objets vus nettement par l'observateur.



5.2 Caractéristiques de l'œil réduit

5.2.1 Champ de vision de l'œil réduit.

Le champ de vision est l'ensemble de tous les objets que peut voir nettement l'observateur. Il est délimité par deux positions extrêmes. Le **Punctum Proximum**, et le **Punctum Remotum.**

5.2.1.1 Le Punctum Proximum.

La position du point objet le **plus proche** que peut voir le sujet nettement est appelé **Punctum Proximum**. La vision de ces objets proches se fait avec **fatigue** de l'œil. Ce point objet noté **(PP) varie** d'un sujet à un autre, et il varie aussi en fonction de **l'âge** de l'observateur

5.2.1.2 Le Punctum Remotum.

Le point objet le **plus éloigné** que peut voir le sujet nettement est appelé **Punctum Remotum**. La vision de ces objets éloignés se fait **sans fatigue** de l'œil. Ce point objet noté **(PR) varie** d'un sujet à un autre.

5.2.2 Puissance de l'œil réduit

On définit la puissance, notée **(P),** de l'œil par: $P = \frac{1}{\overline{OPR}}$

Elle caractérise **l'amétropie** ou le **défaut** de l'œil du sujet

5.2.3 Accommodation

5.2.3.1 Vision au PR. $\frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}}$

L'image rétinienne est réelle, renversée, plus petite que l'objet, située sur la rétine (tache jaune), c'est le cerveau qui la rétablie.

La relation de conjugaison des lentilles étant applicable, on déduit que:

$\overline{OA} = \overline{OPR}$ est la position de l'objet, la vision se fait sans fatigue de l'œil.

$\overline{OA'} = \overline{OT}$ est la position de l'image, elle est placée sur la tache jaune.

$\frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{\overline{OT}} - \frac{1}{\overline{OPR}} = C_{min}$ C_{min} est la vergence minimale de l'œil

5.2.3.2 Vision au PP.

L'image formée étant toujours réelle, renversée, de taille plus petite que l'objet est située sur la rétine (tache jaune)

$\overline{OA} = \overline{OPP}$ est la position de l'objet, la vision se fait avec fatigue de l'œil.

$\overline{OA'} = \overline{OT}$ est la position de l'image, elle est placée sur la tache jaune.

$\frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{\overline{OT}} - \frac{1}{\overline{OPP}} = C_{max}$ C_{max} est la vergence maximale de l'œil

5.2.3.3 Amplitude d'accommodation

$$A = C_{max} - C_{min} = \frac{1}{\overline{OPR}} - \frac{1}{\overline{OPP}}$$

Elle est notée (A) et définie par:

5.2.3.4 Définition.

Pour observer des objets à des distances différentes, il est nécessaire que le cristallin modifie sa distance focale. On dit que l'œil **accommode**.

$$\frac{1}{OF'}=\frac{1}{OA'}-\frac{1}{OA}\Rightarrow\frac{1}{OT}=\frac{1}{OF'}+\frac{1}{OA}=cst$$

OA : la position de l'objet, elle varie dans le champ de vision entre le **PP** et le **PR**

OA' : est la position de l'image, toujours fixe sur la tache jaune **OT**.

On déduit que la distance OF' est une variable.

Le pouvoir que possède l'œil de faire **varier** sa distance focale, afin de **garder** une image **fixe** sur la tache jaune définit **l'accommodation.**

Pour cela l'œil va utiliser les ***muscles ciliaires*** afin de ***modifier les courbures du cristallin.***

$$\frac{1}{OF'}=\left(\frac{n_{lent}}{n_{ext}}-1\right)\times\left(\frac{1}{R_{inc}}-\frac{1}{R_{eme}}\right)$$

Les rayons de courbures du **cristallin** sont **variables**

5.3 Amétropies, Défauts de l'œil

Définitions : on appelle **œil emmétrope** ou **normal** un œil ne possédant pas de **défaut visuel**. A l'inverse, en cas de présence d'un défaut visuel, on parle d'œil **amétrope**. les défauts de l'œil, sont définis par rapport à l'œil **emmétrope** considéré comme référence.

5.3.1 Œil emmétrope.

5.3.1.1 Définition

La forme **géométrique** de l'œil **normal** est approximativement **sphérique**.

5.3.1.2 Caractéristiques de l'œil emmétrope.

Au repos, les rayons lumineux issus d'un objet rejeté à l'infini, **convergent** sur la tache jaune, l'image est **ponctuelle**.

La vision **éloignée** d'un œil emmétrope est caractérisée par un **PR** =-∞.

Sa vision **rapprochée** est caractérisée par un **PP = - 25 cm.**

5.3.2 Œil myope, myopie.

5.3.2.1 Définition

Si la forme géométrique de l'œil n'est pas sphérique, on définit un œil **Amétrope**. Dans le cas ou L'œil est trop long dans le sens antéro-postérieur (forme ovale), l'œil est dit **myope**.

Au repos, les rayons lumineux issus d'un objet rejeté à l'infini, **convergent avant la tache jaune** de l'œil myope.

Ils forment une image qui **n'est pas ponctuelle sur la tache jaune.**

L'œil myope **est plus convergent** que l'œil normal.

Les **objets éloignés** ne se pas **vus nettement** par le myope, vision flou de loin.

Cette myopie souvent révélée vers l'âge de 10 ans (myopie dite « scolaire ») se **stabilise** ou **évolue peu à l'âge adulte**. Elle ne dépasse en général pas – 6,00 dioptries.

On distingue deux types de myopies.

a) la myopie d'indice.

La diminution du rayon de courbure de la **cornée** (et/ou) la **modification de réfringence** (augmentation/diminution de l'indice de réfraction) d'un des milieux transparent (cristallin) peut générer une myopisation.

Elle peut porter :

- **sur la cornée** : kératocône
- **sur le cristallin** : cataracte nucléaire.

b) la myopie maladie ou myopie forte.

Myopie forte **évolutive au-delà de – 6,00 dioptries.**

Elle débute **précocement**, parfois de façon **familiale** ; elle associe des **altérations oculaires** portant surtout sur la **rétine et la choroïde** (« **étirement** » **des tissus, atrophie**) et peut se compliquer notamment de **décollement de la rétine, d'hémorragies maculaires** et de **glaucome.**

Elle évolue malheureusement toute la vie. Elle peut atteindre **– 30,00** dioptries ou davantage.

5.3.2.2 Caractéristiques de l'œil myope.

La vision **éloignée** d'un œil myope est caractérisée par un **PR réel** situé à une **distance finie**, la position du **PR** dépend de la **sévérité** de la myopie, elle **varie** d'un sujet à un autre .

Sa vision **rapprochée** est caractérisée par un **PP < -25 cm.**

5.3.3 Œil Hypérope, Hyperéropie (Hypermétropie).

5.3.3.1 Définition

C'est une **anomalie de la réfraction** qui est très répandue, notamment chez l'enfant.

Chez **l'hypermétrope**, l'œil **n'est pas assez convergent** et l'Image d'un objet situé à l'Infini se forme en arrière du plan rétinien et **est donc vue floue.**

Par conséquent, les **objets éloignés** ne se pas **vus nettement** par l'œil hypérope au repos.

Cette vision peut cependant être **compensé** par **l'accommodation** qui va **ramener l'image** sur le **plan rétinien,** il doit accommoder pour les voir.

Cela entraîne chez l'hypermétrope la **mise en jeu permanente** de **l'accommodation**, en vision **de loin** aussi bien qu'en **vision de près.**

On distingue trois types **d'hypermétropie.**

a) **L'hypermétropie axile.**

Elle est de très loin, **la plus fréquente**. Dans ce cas, l'anomalie porte sur la **longueur antéro-postérieur** de l'œil qui est **trop courte** pour son **pouvoir de convergence**.

A la **naissance**, il existe habituellement **une hypermétropie de ce type de 2 ou 3 dioptries qui diminue progressivement** jusqu'à disparaitre à l'adolescence avec le développement de l'œil.

Mais l'hypermétropie peut être plus importante et **persister à l'âge adulte.**

b) **L' hypermétropie de courbure.**

Dans ce cas, le défaut optique est une **insuffisance de la courbure** cornéenne. Ce type **d'hypermétropie** est très rare, on peut avoir :

- **Une anomalie cornéenne** appelée **cornea plana**
- **Une cicatrice d'un traumatisme.**

c) **L'hypermétropie d'indice.**

Elle est due **à une diminution de la réfraction** du cristallin, et peut apparaître de façon **très progressive** chez le sujet **âgé**; elle est beaucoup **plus rare** que la myopie d'indice.

5.3.3.2 Caractéristiques de l'œil hypermétrope

La vision **éloignée** d'un œil Hypérope est **caractérisée** par une vision **avec accommodation** son œil n'est jamais **au repos**, c.à.d. un **PR virtuel** situé à une **distance finie. Son PR** dépend de la **sévérité** de l'hypéropie et **il varie** d'un sujet à un autre .

Sa vision **rapprochée** est caractérisée par un **PP > - 25 cm.**

Comment on détermine **géométriquement** le PR d'un **hypérope**, connaissant la position **de l'image et celle du F.P.I**

5.3.4 Œil Presbyte, Presbytie.

5.3.4.1 Définition

La presbytie est un trouble de la vision qui rend difficile la vision de près, (lecture, ou effectuer un travail de près). Ce n'est pas une **maladie** mais un processus de **vieillissement normal** de l'œil et plus particulièrement du cristallin.

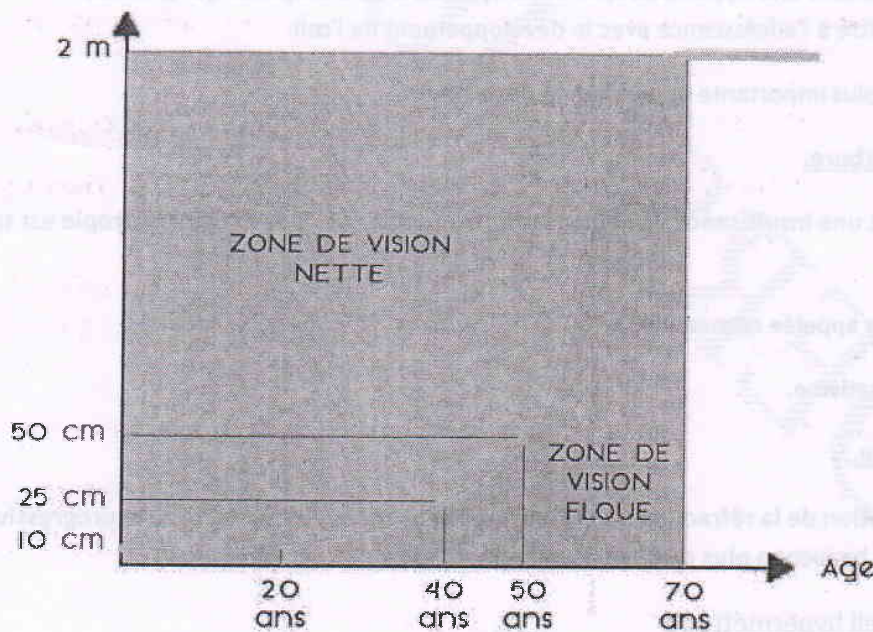
La presbytie se manifeste par une **diminution du pouvoir d'accommodation** de l'œil avec l'âge.

Elle **débute vers 45 ans** pour devenir **maximale à 60 ans**. Elle concerne ***tous les individus***.

Les structures en cause sont :

- **Le cristallin** dont le noyau se modifie et dont la capsule perd son élasticité.
- **Le muscle ciliaire** qui n'est plus capable d'assurer le relâchement de la zonule.

Le PP varie en fonction de l'âge du sujet, la courbe suivant explicite l'évolution du PP en fonction de l'âge.



5.3.5 Œil Astigmate, Astigmatie.

5.3.5.1 Définition

Dans cette anomalie de la réfraction oculaire, la **cornée n'a plus** la forme d'une **calotte de sphère** de **courbure régulière**.

Son **rayon de courbure varie** de façon progressive entre **deux valeurs** qui correspondent à **deux plans d'incidence**, dit **plans principaux** qui définissent l'**astigmatisme**.

Ces plans principaux sont habituellement perpendiculaires l'un à l'autre.

L'œil **astigmate** donnera **d'un point objet deux images**

5.3.4.2 caractéristiques de l'œil presbyte.

Le **PP** de l'œil presbyte **varie**, il **devient plus éloigné.**

Le **PR** de l'œil presbyte **ne varie pas**.

5.3.5.2 différents types d'astigmatisme.

Il existe ainsi cinq types d'astigmatisme selon la position de ces deux foyers images par rapport à la rétine :

- Si F'_1 est située **avant la rétine** et F'_2 **sur la rétine**, on est dans un cas **d'astigmatisme myopique simple.**
- Si **F'_1 et F'_2** sont située **avant la** rétine, on est dans un cas **d'astigmatisme myopique composé.**
- Si F'_1 est **située sur la rétine** et F'_2 derrière la rétine, on est dans un cas **d'astigmatisme hypéropique simple.**
- Si F'_1 **et** F'_2 sont situées **derrière la rétine**, on est dans un cas **d'astigmatisme hypéropique composé.**
- Si F'_1 est **en avant** de la rétine et **F'_2 en arrière** de la rétine, on parle **d'astigmatisme composé myopique hypéropique (mixte).**

Pour connaître **la valeur** et **l'axe de l'astigmatisme** on peut utiliser ***l'ophtalmomètre de JAVAL*** et la ***skiascopie***, mais l'utilisation d'un **réfractomètre automatique** qui avec les appareils actuels donne des résultats **plus fiables**.

Pouvoir séparateur de l'œil

$$\theta_{min} \approx \frac{d}{L} = \frac{1,22\,\lambda}{a}$$

a: Le diamètre de la pupille

l: La longueur d'onde de la lumière

5.4 Correction des Amétropies de l'œil.

5.4.1 Principe de Correction.

Le **principe de correction** consiste a **utiliser** des **lentilles minces** pour **corriger** la vision de l'œil amétrope

AB: est **l'objet**, il **n'est pas vus** pa $AB + L_1 \rightarrow A'B' + L_2 \rightarrow A''B''$ **lentilles** correctrices **(L_1)**.

A'B' : est **l'image de objet** donnée par la **lentille (L_1)**, elle sera considérée comme **objet pour l'œil,** elle doit se trouver dans le **CV de l'observateur.**

A''B'' : est **l'image finale** de **l'objet** intermédiaire donné par l'œil **(L_2)**, **elle doit se trouver sur la tache jaune** de l'œil.

5.4.2 Principe de Correction de l'œil myope

5.4.2.1 Correction de la vision éloignée.

Le myope utilise des **lentilles minces** pour corriger sa **vision éloignée**

AB: est **l'objet** le plus éloigné que le myope veut voir, cet objet n'est pas vus par l'observateur myope sans ses lentilles, il est noté **PR_C et rejeté à l'infini.**

A'B' : est **l'image** de objet donnée par la lentille, elle sera considérée comme objet pour l'œil, elle doit se trouver dans **le CV du myope.**

Pour que la vision se fasse **sans accommodation**, l'image donnée par la lentille doit se trouver sur son **PR.**

A''B'' : est l'image finale donnée par l'œil, elle doit se trouver sur la **tache jaune de l'œil.**

$$AB + L_1 \rightarrow A'B' + L_2 \rightarrow A''B'' \Rightarrow \frac{1}{\overline{O_1F'}} = \frac{1}{\overline{O_1A'}} - \frac{1}{\overline{O_1A}}$$

$\overline{O_1A} = \overline{O_1PR_C}$: est la position de l'objet le plus éloigné, la vision se fait sans fatigue de l'œil.

$\overline{O_1A'} = \overline{O_1PR}$: est la position de l'image intermédiaire, elle est placée sur le PR naturel du myope

$$\frac{1}{\overline{O_1F'}} = \frac{1}{\overline{O_1PR}} - \frac{1}{\overline{O_1PR}} = C_{lentille}$$

$C_{lentille}$ est la vergence de la lentille correctrice.

$\overline{O_1F'} = \overline{O_1PR} \Rightarrow F' = PR$

La lentille correctrice du myope est divergente

5.4.2.2 Correction de la vision proche.

La **correction de la vision éloignée entraine** la correction de **la vision proche.** C.à.d. que le myope **utilise** ses lentilles pour **voir les objets éloignés et pour voir aussi les objets proches.**

Le même principe est utilisé pour déterminer **le PP_C** $AB + L_1 \rightarrow A'B' + L_2 \rightarrow A''B''$

$\overline{O_1A} = \overline{O_1PP_C}$: est la **position de l'objet le plus proche**, la vision se fait avec accommodation maximale.

$\overline{O_1A'} = \overline{O_1PP}$: est la position de **l'image intermédiaire**, elle est placée sur le **PP** naturel du myope

$$\Rightarrow \frac{1}{\overline{O_1F'}} = \frac{1}{\overline{O_1A'}} - \frac{1}{\overline{O_1A}} \qquad \frac{1}{\overline{O_1F'}} = \frac{1}{\overline{O_1PP}} - \frac{1}{\overline{O_1PP_C}} = C_{lentille}$$

5.4.3 Principe de Correction de l'œil hypérope

5.4.3.1 Correction de la vision éloignée.

L'hypérope utilise des lentilles minces pour corriger sa vision éloignée.

AB: est l'objet le **plus éloigné** vus par l'observateur **sans ses lentilles** avec accommodation, avec ses lentilles il verra **l'objet** sans accommodation, il est noté **PR$_C$** et rejeté à l'infini.

A'B' : est **l'image** de objet **donnée par la lentille, considérée comme objet** pour l'œil, cette image doit se trouver sur le **PR naturel** de l'hypérope pour que la vision se fasse sans accommodation.

A''B'' : **est l'image finale** donné par l'œil, elle doit se trouver sur la tache jaune de l'œil.

$$AB + L_1 \rightarrow A'B' + L_2 \rightarrow A''B'' \qquad \Rightarrow \frac{1}{\overline{O_1F'}} = \frac{1}{\overline{O_1A'}} - \frac{1}{\overline{O_1A}}$$

$\overline{O_1A} = \overline{O_1PR_C}$: est la position de l'objet le plus éloigné, la vision se fait sans fatigue de l'œil.

$\overline{O_1A'} = \overline{O_1PR}$: est la position de l'image intermédiaire, elle est placée sur le PR naturel du myope

$$\frac{1}{\overline{O_1F'}} = \frac{1}{\overline{O_1PR}} - \frac{1}{\overline{O_1PR_C}} = C_{lentille}$$

$C_{lentille}$ est la vergence de la lentille correctrice

$\overline{O_1F'} = \overline{O_1PR} \Rightarrow F' = PR$ **La lentille correctrice de l'hypérope est** **convergente**

5.4.3.2 Correction de la vision proche.

La **correction** de la **vision éloignée entraine** la correction de la **vision proche**. C.à.d. que l'hypermétrope utilise ses lentilles pour voir les objets éloignés ainsi que les objets proches.

Le même principe est utilisé pour déterminer le **PP$_C$**.

$$AB + L_1 \rightarrow A'B' + L_2 \rightarrow A''B''$$

$\overline{O_1A} = \overline{O_1PP_C}$: est la position de l'objet le plus proche, la vision se fait avec accommodation maximale.

$\overline{O_1A'} = \overline{O_1PP}$: est la position de l'image intermédiaire, elle est placée sur le PP naturel de l'hypermétrope.

$$\Rightarrow \frac{1}{O_1F'} = \frac{1}{O_1A'} - \frac{1}{O_1A} \qquad \frac{1}{O_1F'} = \frac{1}{O_1PP} - \frac{1}{O_1PP_C} = C_{lentille}$$

5.4.4 Principe de Correction de l'œil presbyte.

La **correction** est assurée par des **lentilles convergentes**, quelle que soit l'amétropie du sujet.

Le but est de permettre au presbyte de voir nettement les **objets proches** à travers ses lentilles correctrices.

- **Chez l'hypermétrope**, la presbytie sera ressentie plus tôt, nécessité de rajouter des **verres convergents.**
- **le myope** (**plus convergent** que l'œil normal), **ressentira tardivement** les inconvénients de la presbytie.

Lorsque le sujet possède **deux amétropies**, la correction se fait avec des **verres bifocaux.**

Enfin, la **correction** de la presbytie doit donc toujours **tenir compte de la correction de loin** et vient en **addition** de celle-ci.

5.4.5.Principe de Correction de l'œil astigmate.

$$\frac{1}{O_1F'} = \frac{1}{O_1PP} - \frac{1}{O_1PP_C} = C_{lentille}$$

Le but est de restituer les rayons de courbures de la cornée. Ce types de verres sont appelés verre torique ou sphèro-cylindrique.

Ils sont **constitués** d'une **sphère** pour corriger la **vision éloignée**, et d'un **cylindre** pour corriger les **rayons de courbures de la cornée.**

chapitre optique physiologique

6.1 Généralités.

L'image rétinienne est **réelle, renversée plus petite** que l'objet, c'est le **cerveau qui la rétablie**. Celle-ci doit se trouver sur la rétine pour quelle soit vue nettement.

Il faut signaler que :

- L'image vue doit être **nette**, c'est à dire qu'un seul point objet doit avoir un seul point image. **SYSTÈME STIGMATE**. Condition de **gauss** applicable dans le cas des faibles incidences.
- Toute l'image doit se trouver sur la rétine.
- La **taille** de l'image doit être suffisamment grande pour que celle-ci soit vue.
- **En plus** de ces conditions qui doivent être **satisfaites** pour **chaque œil**, la taille et la position de l'image doivent être identiques pour chaque œil en vision **binoculaire**.

La vision **diurne** est **maximale**, celle ci diminue en vision **nocturne**.

L'abaissement de l'acuité visuelle dû à un **trouble dioptrique**, une **affection de la rétine** ou une **mauvaise conduction** du nerf optique est dite **Amblyopie**.

6.2 Ophtalmoscopie.

6.2.1 Définition. La technique qui permet d'examiner l'état physiologique du fond de l'œil, et de dire **objectivement** l'amétropie de l'œil est dite **ophtalmoscopie**.

6.2.2 Technique. Après avoir injecté une substance **anesthésiante**, le fond de l'œil d'un sujet est éclairé. Cette substance injectée permet de **dilater** la pupille et de **bloquer** l'accommodation de l'œil du sujet.

L'œil du sujet pourrait être ainsi considéré comme **étant au repos**. Il existe deux techniques.

6.2.2.1 Skiascopie. Avec une source lumineuse **orientable** grâce à un petit miroir, on éclaire le fond de l'œil d'un sujet de sorte que l'image de la source se forme sur la rétine. Cette technique permet de visualiser la **structure** de la rétine si elle n'est pas endommagée, et de dire **l'amétropie** de l'œil.

- **Si** S_1 image de **S** la source se trouve **sur la rétine**, la vision est nette et l'œil est **emmétrope**.
- **Si** S_1 est en **avant** de la rétine l'œil est **myope**.
- **Si** S_1 est en **arrière** de la rétine l'œil est **hypermétrope**.

Le **rayon lumineux** est **déplacé** par de **petits mouvements** en effectuant des **traits verticaux** et **horizontaux**, ce qui **provoque une ombre à l'entrée de la pupille**.

- Quand l'ombre **obscurcit** totalement la pupille, le sujet est **normal**.
- Quand l'ombre se **déplace dans le sens** du faisceau, on dit que le sujet est **hypermétrope**.
- Quand l'ombre **se déplace en sens inverse**, il est **myope**.

Pour déterminer le **degré de myopie** ou **d'hypermétropie,** le médecin place entre le **faisceaux lumineux** et **l'œil du patient**, des **verres correcteurs** de puissance variable de façon à obtenir un **obscurcissement** uniforme de la **pupille**.

6.2.2.2 Kératométrie. Elle permet d'examiner **l'uniformité** des **courbures de la cornée** de l'œil du sujet éclairé.

Si la courbure de la cornée **n'est pas régulière**, l'œil est **astigmate** (ophtalmomètre de JAVAL).

6.3 Optique physiologique.

6.3.1 Rappel sur la lumière. La lumière est un **phénomène vibratoire** qui est la conséquence des **transitions électroniques** ou **nucléaires**. La lumière est caractérisée par :

Une énergie E, une longueur d'onde λ, Une période T et une vitesse de propagation dans le vide notée **C** = 3 10^8 m/s.

$$E = h \times f = \frac{h \times C}{\lambda}$$

Il faut noter que **l'image rétinienne** est le résultat de l'interaction de la lumière incidente avec les cellules réceptrices de la rétine. Cette interaction donne la **sensation de la vision ou message visuel.**

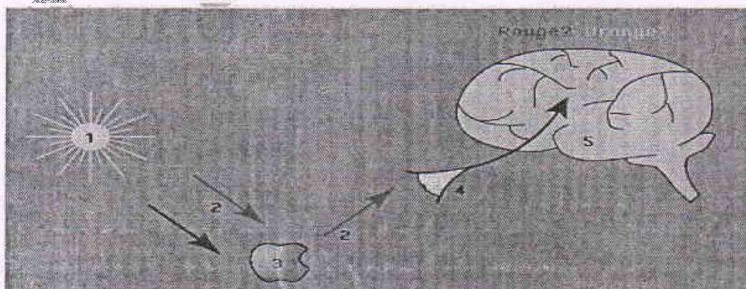
6.3.2 Image rétinienne. La **notion** d'image est **facile** à définir au **sens géométrique,** mais **difficile** à définir au **sens biophysique.**

Cette image est le résultat de **l'interaction** de la lumière incidente arrivant sur la rétine et les cellules réceptrices.

Dans le phénomène de la vision de l'image on distingue **deux composantes :**

- L'une est la perception de **l'intensité lumineuse**. Cette perception dépend de **l'énergie** transportée par le rayonnement incident.
- L'autre est la **perception de la teinte** de la radiation incidente, celle ci dépend de sa **longueur d'onde**.

Ce que nous appelons **couleur** est en réalité le résultat de **l'action** conjuguée de plusieurs **paramètres** comme l'illustre la figure suivante.



1. La **source lumineuse** utilisée;
2. La **géométrie de l'objet** (angles d'éclairement et d'observation) ;
3. L'**objet** et ses caractéristiques **physiques;**
4. L'œil de l'observateur, avec les **qualités** et les **défauts** propres à chaque individu;

Le cerveau de l'observateur, dont la capacité de discernement des couleurs évolue en fonction de l'âge et de l'expérience acquise

6.3.2.1 Notion de radiométrie.

La radiométrie est la science qui permet d'étudier la quantité d'énergie emportée par une radiation.

On Définit quatre variables principales dans la **radiométrie:**

- **Intensité énergétique (I),** il définit le **flux énergétique** par **unité d'angle solide**, $I=\Phi/\Omega$ **(W/(s.sd)).**
- **Flux énergétique (Φ),** définit **l'énergie transportée** par la radiation incidente par **unité de temps.** $\Phi = w/t$ **(j/s).**
- **Éclairement énergétique (E),** l'énergie **transportée par unité de surface**, $E=\Phi/S$ w/m^2.
- **Brillance énergétique (B), L'énergie transportée** par **unité de surface** et **d'angle solide,** $B = \Phi/ (S.\Omega)$ en w/m^2 sd.

Ces grandeurs physiques caractérisent la quantité d'énergie de la radiation incidente qui arrive sur la rétine.

6.3.2.2. Notion de photométrie.

L'image rétinienne dépend de la quantité d'énergie transportée par la radiation incidente, mais aussi de la longueur d'onde caractérisant la couleur de l'image.

Quatre variables principales permettent de définir la couleur de la radiation incidente.

- **Intensité lumineuse (I).**
- **Le flux lumineux (F).**
- **Luminance (L).**
- **L'éclairement lumineux (E).**

a. **Le flux lumineux:** Il représente la **quantité globale** de lumière émise par une source lumineuse (émettrice ou éclairée d'une lumière) dans toutes les directions. Son unité est le **lumen** (lm).

b. **b. L'intensité lumineuse** Elle est définie comme étant le **flux lumineux** transmis uniformément dans un cône **d'angle solide** et dans une direction donnée. Son unité, la **candela** (cd), équivaut au lumen par stéradian.

c. . L'éclairement. Il est défini par le **flux lumineux** reçu par **unité de surface** de l'élément éclairé. Son unité est le **lux**. Un flux lumineux de 1 lumen atteignant perpendiculairement une surface de 1 mètre carré y produit un éclairement de 1 lux.

L'éclairement est la grandeur utilisée pour caractériser la **sensibilité de l'œil**. Il se mesure au moyen d'un instrument muni d'une cellule photoélectrique appelé « luxmètre »

d. La luminance: Elle représente le **quotient de l'intensité lumineuse** réfléchie d'une source éclairée, par **l'aire apparente** de cette surface (éclairée, exposée directement à ces rayons).

C'est la brillance d'une surface réfléchissante, telle qu'elle est perçue par l'œil. (Son unité est le candela par mètre carrés).

C'est la **grandeur la plus importante**, car c'est elle qui va déterminer le seuil d'excitabilité des cellules réceptrices.

6.4.Message visuel. (Tri variance).

Le message visuel peut être caractérisé par trois variables indépendantes. Ces variables sont :

- **La luminance** L, c'est une **grandeur mesurable** qui permet au sujet de mesurer **l'intensité** de la lumière reçue.
- **La tonalité T**, elle permet au sujet de distinguer les différentes couleurs de l'image. La **tonalité n'est pas une grandeur mesurable**.
- **La saturation S** exprime la **quantité de couleur blanche** contenue dans une **radiation incidente donnée**. La saturation permet de laver ou de pâlir une couleur donnée.

Il faut signaler que ces trois variables ou **tri variance** visuelle permettent de définir **trois types de vision**.

- **Vision diurne ou Photopique.** Elle est caractérisée par une vision nette des couleurs. La luminance est : **$L > 10$ nits.**
- **Vision nocturne ou Scotopique:** Elle est caractérisée par l'absence des couleurs. La luminance est : **$L < 10^{-3}$ nits.**
- **Vision crépusculaire ou mésopique.** Elle est caractérisée **par une vision grise des couleurs. La luminance est : 10^{-2} nits $<L<$ 10 nits.**

6.5 Structure de la rétine.

L'œil est une suite de milieux transparents, se terminant par la rétine. La rétine est la membrane **nerveuse de l'œil**, elle est reliée au système nerveux central par le nerf optique.

6.5.1 Sensibilité de l'œil. L'œil **ne peut distinguer** que la lumière dont la longueur d'onde est **comprise entre 400 nm et 750 nm.**

Celle ci peut être **monochromatique** ou **poly chromatique.** Tout **changement** des conditions d'éclairage **s'accompagne** d'une perte plus ou moins prolongée de la sensibilité de l'œil.

L'œil doit **s'adapter** aux nouvelles conditions d'éclairages pour récupérer ces facultés de vision normale nette.

La **sensation de la vision** est due à deux caractéristiques de la lumière reçue par la rétine.

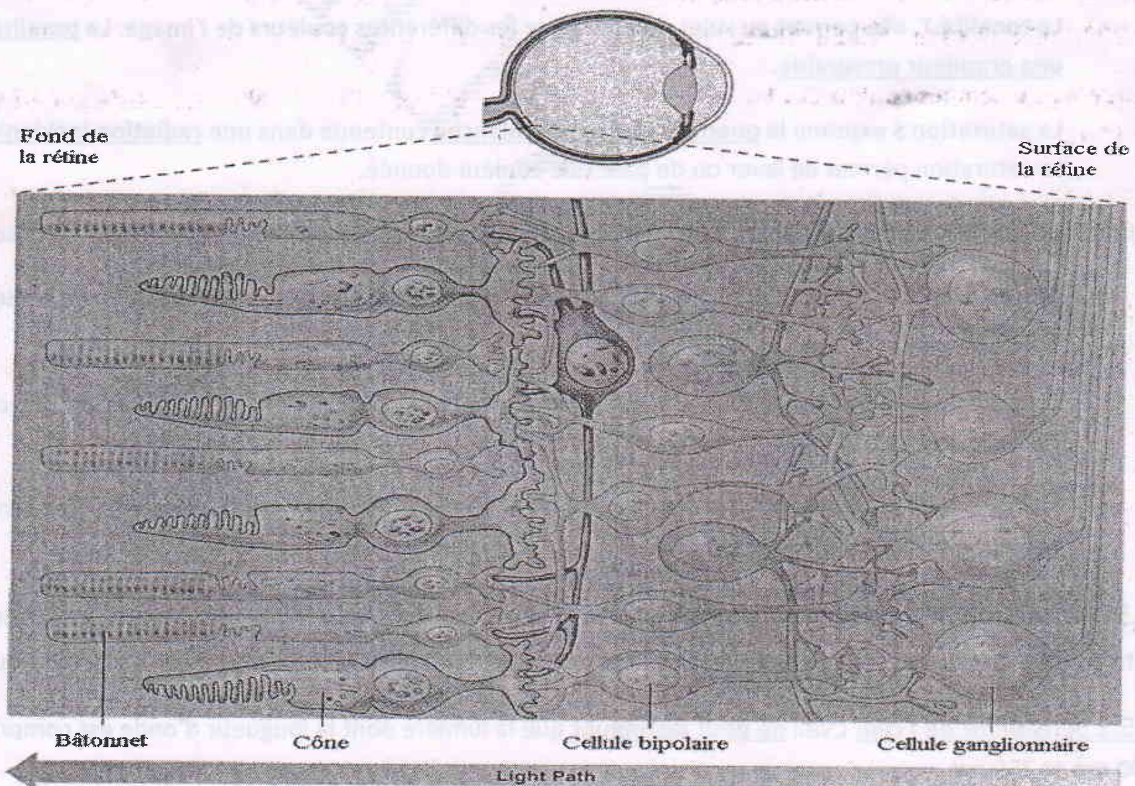
- **L'intensité lumineuse** : c'est à dire l'énergie de la radiation incidente.
- **La tonalité** : la couleur de l'image formée par la radiation incidente sur la rétine.

6.5.2 Constituant de la rétine. La rétine est un véritable écran qui tapisse le fond de l'œil. Elle présente **d'importante modification régionale.** La rétine est **constituée** de plusieurs types de cellules.

Chacune d'elle est **destinée** à faire un rôle bien précis.

- Au centre de la rétine se trouve la **fovéa** ou la **tache jaune**. Dans cette partie se fait la vision des détails d'objets ainsi que la **vision des couleurs**. On parle de **vision photo pique.**
  - La périphérie permet la **vision scotopique plus globale** mais **pas nette**. Elle ne permet pas la vision des détails d'objets et des couleurs.
  - Il faut signaler l'existence de la papille insensible à la lumière.

Composantes nerveuses de la rétine



6.5.3. Comparaison entre les cellules à cônes et les cellules à bâtonnets.

Il existe **deux types** de cellules photo réceptrice, les cellules à **cônes** et les cellules à **bâtonnets**.

A) Les cellules à cônes : Leur nombre est de **10 millions par œil**. Ils sont concentrés dans la **partie centrale** de la rétine. Leur nombre diminue en s'éloignant du centre de la rétine. Leur rôle principal est la **vision photo pique**. On retrouve trois types de cônes :

- Les cônes qui reçoivent la radiation de **couleur rouge** ;
- Les cônes qui reçoivent la radiation de **couleur bleue** ;
- Les cônes qui reçoivent la radiation de **couleur verte**.

B) Les cellules à bâtonnets : Ils se trouvent en **grande quantité** dans la périphérie de la fovéa. Leur nombre est de **150 millions** par œil. Ils permettent la **vision scotopique**

***Les cônes** sont **plus nombreux** au centre de la rétine **(FOVËA).** Ils sont à l'origine des performances en vision centrale, et permettent la vision des détails, la vision des couleurs et la vision des mouvements. **Inactif en vision de nuit**.

***Les bâtonnets** plus nombreux en périphérie de la rétine. **Ils sont moins précis** pour la vision des détails mais ils permettent une vision périphérique avec perception du mouvement et surtout une vision nocturne.

***Les cônes** voient **les couleurs et les détails** mais **demandent** un **niveau** de lumière ambiante important (vision de jour).

*Quand la lumière **baisse** les **bâtonnets** sont encore **capables de voir les formes**, mais les **couleurs des objets** ne sont **plus perceptibles** (tous les objets deviennent gris)

*La vision de nuit est sous la dépendance des bâtonnets. Comme ces bâtonnets se situent en **périphérie de la rétine**, *la vision nocturne se fait en vision para centrale (15 à 20°).

Le tableau suivant permet de comparer les deux cellules.

	Bâtonnets	Cônes
Topographie	Uniquement la périphérie de la rétine	Surtout dans la fovéa.
Domaine de vision	Nocturne ou scotopique.	Diurne ou Photopique.
Sensibilité	Forte sauf au rouge.	Faible.
Précision (Acuité visuelle)	Faible.	Forte.
Variance	Vision uni variante (Non colorée).	Vision tri variante (colorée).
Adaptation	Importante et lente.	Faible et rapide.
Pigment	Un seul la Rhodopsine.	Trois pigments distincts (Iodopsine).
Connections	Plusieurs sont reliées à une cellule ganglionnaire par le biais d'une cellule bipolaire.	Une cellule est reliée à une seule cellule ganglionnaire par le biais d'une cellule bipolaire.

6.6 EFFET DE PURKINJE. La rétine de l'œil humain présente **un pic de sensibilité** vers **550 nm**, dans la partie **jaune-verdâtre du spectre**. C'est la vision **photopique**.

Au crépuscule et durant la nuit, cette sensibilité se déplace vers les courtes longueurs d'ondes, vers **505 nm**, dans la partie **verte-bleutée** du spectre, c'est la vision **scotopique**.

Ce phénomène porte le nom d'effet **PURKINJE** et altère notre vision, d'autant plus que les **bâtonnets** de la rétine **sont très peu sensibles aux couleurs.**

Associé à une faible **sensibilité des bâtonnets** envers la couleur, **ce phénomène explique** notre difficulté à percevoir les couleurs dans des conditions de faible éclairement et le changement de tonalité des objets peu lumineux.

Spectre visible

Vision de nuit et perception des couleurs

Le rouge est une couleur privilégiée pour les alarmes car il est vu rouge, ou n'est pas vu du tout quand l'intensité est trop faible

Les cônes voient les couleurs et les détails mais demandent un niveau de lumière ambiante important(vision de jour).

Quand la lumière baisse les **bâtonnets** sont capables de voir les formes, mais les objets ne sont plus perceptibles (tous les objets deviennent gris).

Les "champs" visuels

<u>Premier cercle</u> : 2° <u>d'ouverture</u>,

vision centrale, acuité maximum,

environ 3 cm de diamètre sur

le tableau de bord. Permet la lecture des caractères alphanumériques.

<u>Deuxième cercle</u> : 4° <u>d'ouverture</u>,

vision para-centrale, permet la

lecture des échelles analogiques

<u>Cercles extérieurs :</u> vision périphérique sensible

aux mouvements et aux

clignotements lumineux

6.7 Étape photochimique. L'énergie de la **radiation incidente** sera transmise aux cellules réceptrices. Elle sera convertie en un <u>rayonnement chimique</u>. Ce rayonnement chimique sera **transmis au cerveau par le nerf optique**.

La **sensibilité** des photorécepteurs est due à une substance chimique **(pigment),** qui existe dans la cellule. On retrouve **<u>deux types</u>** de pigments :

- **La iodopsine :** est une substance que l'on retrouve dans les cellules à **cônes.** On retrouve de la iodopsine bleu, rouge et verte.

- Les cônes récepteurs de la couleur bleue contiennent 100 milles iodopsine bleue, **1** seule iodopsine rouge et **1** seule iodopsine verte.
- Les cônes récepteurs de la couleur rouge contiennent 100 milles iodopsine rouge, **1** seule iodopsine bleue et **1** seule iodopsine verte.
- Les cônes récepteurs de la couleur verte contiennent 100 milles iodopsine verte, **1** seule iodopsine rouge et **1** seule iodopsine bleue.
- **La rhodopsine :** C'est une substance que l'on retrouve dans les cellules à **bâtonnets**.
- **6.7 Spectre d'absorption :** On appelle **signal** toute réponse de la cellule à une excitation externe, c'est à dire, **réaction** de la cellule à l'énergie ramenée par la radiation incidente et absorbée par cette dernière.
- Le **spectre d'absorption** nous permet de représenter le **signal** en fonction de la longueur d'onde λ. L'absorption est maximale lorsque le spectre est maximal pour une longueur donnée.
- **Lors de l'interaction de la lumière incidente avec les cellules réceptrices, l'énergie de la radiation est transférée au pigment de la cellule.**
- **Cette augmentation d'énergie est retrouvée dans les liaisons intramoléculaires, ce qui entraîne une modification de la structure spatiale, donc modification de la fonction biologique.**

Rhodopsine + Lumière =======> réponse appelée rétinal Cis.

Iodopsine + Lumière ======> réponse appelée rétinal Trans.

L'augmentation du rétinal Cis produit un **signal électrophysiologique** par l'ouverture des canaux de la membrane cellulaire. Voir cours électrophysiologie. L'influx nerveux résultant est transmis par le nerf optique au cerveau, centre de traitement de l'information. Le résultat de l'interaction est la sensation de la vision des objets.

- **La Rhodopsine** absorbe les radiations incidentes de longueur d'onde comprise entre 0,4 μm et 0,8 μm.
- **La Iodopsine** bleue absorbe la radiation de 0,47 μm, la verte 0,57 μm et la rouge 0,6 μm.

6.8 Spectre d'absorption

Il faut noter qu'il existe deux champs.

- ❑ **Un champ nasal ou interne et**
- ❑ **un champ temporal.**

Les deux champs n'ont pas la même destination au niveau du cerveau.

- ➢ **Le champ nasal droit est reçu par l'hémisphère gauche.**
- ➢ **Le champ nasal gauche est reçu par l'hémisphère droit.**

La synthèse finale se fera dans les centres nerveux supérieurs de la vision.

6.9. Conclusion. La lumière traverse les différents **milieux transparents** de l'œil.

Cette lumière sera **projetée** sur la rétine, elle sera **absorbée** par les **pigment spécifiques**. Après absorption de l'énergie de la lumière incidente, il se produit une **réaction photo chimique** donnant naissance à un signal ÉLECTROPHYSIOLOGIQUE.

Ce signal ou influx nerveux est **transmis** par le nerf optique vers les régions correspondantes du **cerveau.**

L'analyse de l'information reçue par le cerveau donne la sensation de la vision.

Le temps total écoulé entre le moment de la vue est la sensation de la vision est de l'ordre de 1/ 32 s.